

Niko Hannula

**Pumppujen hyötysuhteen arviointi
hankesuunnitteluvaiheessa.**

Insinööritö 8.6.2010

Ohjaaja: projektipäällikkö Timo Rintala
Ohjaava opettaja: yliopettaja Jukka Yrjölä

| | |
|---|--|
| Tekijä | Niko Hannula |
| Otsikko | Pumppujen hyötysuhteen arviointi hankesuunnitteluvaiheessa |
| Sivumäärä | 49 sivua |
| Koulutusohjelma | talotekniikka |
| Tutkinto | insinööri (AMK) |
| Ohjaaja | projektipäällikkö Timo Rintala |
| Ohjaava opettaja | yliopettaja Jukka Yrjölä |
| <p>Insinöörit­yössä kehitettiin talotekniikan pumppujen hyötysuhteiden arviointia hankesuunnitteluvaiheen energialaskentaa varten. Työssä myös selvennettiin laskentaprosessia Pöyry Building Services Oy:n käyttämälle energialaskentaohjelmalle ENKU.</p> <p>Tavoitteena insinöörit­yössä oli löytää hyötysuhteiden arvioinnille perusteita eli tietopohjaa, jonka perusteella voidaan pätevästi arvioida kiinteistön jäähdytystehosta laskettavan virtaaman avulla, paljonko jäähdytysverkon­ston pumppu kuluttaa sähköenergiaa. Tätä tietoa tarvitaan yhtenä tekijänä projektien hyväksymiselle tai hylkäämiselle eli suoraan hankkeelle tehtävään investointipäätökseen.</p> <p>Työhön käytettiin apuna kahden suuren pumppuvalmistajan Grundfosin ja Kolmexin mitoitusohjelmia, joiden avulla määritettiin eri virtaama-arvoilla toteutuvia kokonaishyötysuhteita ja näistä koostettiin käyrästöt, joita suunnittelija voi käyttää ohjenuorana määritettäessä energiankulutuksia hanke­vaiheessa.</p> <p>Pumppujen hyötysuhteet ovat kokonaisuutena rakennuksen pitkäikäisimpiä investointeja ja niiden elinkaaren aikaiset energiakustannukset muodostavat ison osuuden kokonaisenergiakustannuksista. Pumppujen valinnassa pitäisi pyrkiä energiatehokkuuteen, vaikka investointikustannukset olisivat suuremmat. Energiankulutuksen vähentäminen tulee olemaan tulevien vuosien trendi, ja tätä ollaan vaatimassa jo Euroopan Unionissa, sekä kansallisessa lainsäädännössä.</p> | |
| Hakusanat | hankesuunnittelu, energiankulutus, pumppu, jäähdytys |

| | |
|--|--|
| Author | Niko Hannula |
| Title | Estimation of pump efficiency for project planning stage |
| Number of Pages | 49 |
| Date | 8 June 2010 |
| Degree Programme | Building Services Engineering |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Instructor | Timo Rintala, Project Manager |
| Supervisor | Jukka Yrjölä, Principal Lecturer |
| <p>The final year project studied the estimation of pump efficiency for the planning stage of a project, and determined the calculation process for ENKU, an energy calculation program.</p> <p>The goal of the final year project was to provide a designer with the data to be used for the calculation of energy used by pumps in a building. In this thesis the main focus was on pumps in the cooling water network. The results from the energy calculations performed during the planning phase can be used for the approval or rejection of the entire project. The data for the calculations was gathered from the design programs of two major pump manufacturers in the building services engineering sector.</p> <p>The result of this thesis is a diagram and a formula to be used by the designer to estimate the efficiency of the pump and to calculate the annual energy consumption of the pump once the necessary cooling power for the building has been estimated. This is very important since pumps are one of the most long-lived investments in the building services engineering sector and their life-cycle energy costs constitute a larger share of the total energy costs of a building.</p> | |
| Keywords | project planning, energy consumption, pump, cooling |

Sisällys

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

| | |
|---|-----------|
| 1 JOHDANTO | 5 |
| 2 SUUNNITTELUPROSESSI | 6 |
| 2.1 HANKESUUNNITTELUN YLEISET TAVOITTEET | 6 |
| 2.2 ENERGIALASKENNAN OSUUS HANKESUUNNITTELUSSA | 7 |
| 2.3 ENERGIATODISTUS | 8 |
| 2.4 ENERGIATEHOKKUUSLUKU | 8 |
| 3 ENERGIASIMULOINTIOHJELMA ENKU | 10 |
| 3.1 YLEISTÄ | 10 |
| 3.2 ENKU ENERGIAN KULUTUSLASKENNASSA | 10 |
| 4 KIERTOVESIVERKOSTOT | 17 |
| 4.1 YLEISTÄ | 17 |
| 4.2 PUMPUT | 18 |
| 4.3 ENERGIAN KULUTUS, OMINAISKÄYRÄ JA TOIMINTAPISTE | 20 |
| 4.4 HYÖTYSUHDE | 24 |
| 5 HYÖTYSUHTTEEN ARVIOINTI | 27 |
| 5.1 HYÖTYSUHTTEEN ARVIOINTI | 27 |
| 5.2 VERTAILU TOTEUTUNEeseen KOHTEeseen | 37 |
| 6 JATKOKEHITYSKOhteita | 37 |
| 7 YHTEENVETO | 38 |
| LÄHTEET | 40 |
| LIITTEET | |
| LIITE 1: GRUNDFOS JÄÄHDYTYSPUMPUT, LASKENTADATA | 42 |
| LIITE 2: KOLMEKS JÄÄHDYTYSPUMPUT, LASKENTADATA | 51 |
| LIITE 3: HELSINGIN ENERGIA, ENERGIAN KULUTUSLASKELMAESIMERKKI | 52 |

1 Johdanto

Hankesuunnittelu on rakennusprojektin ensimmäinen vaihe, kun päätetään ryhtyä tuottamaan uutta rakennusta tai peruskorjaamaan olemassa olevaa. Hankesuunnitelma antaa projektille raamit, joiden puitteissa toimitaan hankkeen ja suunnittelun edetessä.

Monissa projekteissa asetetaan hankesuunnitelmavaiheessa rakennuksen energiankäytölle ja -kustannuksille tavoitteet, on kyseessä sitten uudisrakennus tai peruskorjaus, jossa esim. uusitaan talotekniikkaa laajasti. Uudisrakennuskohteissa laskentaa voidaan käyttää vertaamaan hankevaiheen vaatimuksia rakennusmääräysten mukaiseen tavanomaiseen tasoon. Jos asetettuja tavoitteita ei saavuteta laskennassa tai jos tehtävät korjaustoimenpiteet tulisivat liian kalliiksi ja investoinnin kuoletusaika on liian pitkä, projekti voidaan jopa kokonaan hylätä jo tässä vaiheessa

Työn tilaajana toimii työnantajani Pöyry Building Services Oy, joka on yksi johtavista suomalaisista talotekniikan suunnittelutoimistoista ja on osa Pöyry-konsernia.

Yritys tekee kokonaisvaltaista talotekniikan suunnittelupalvelua, johon kuuluu mm. LVI-suunnittelu, rakennusautomaatiosuunnittelu, sähkö- ja tietojärjestelmien suunnittelu sekä kiinteistökonsultointi, johon kuuluu mm. elinkaaripalvelut ja ympäristöluokitukset, esim. LEED. Työni ohjaajana toimi Pöyryltä projektipäällikkö Timo Rintala.

Pöyry Building Services Oy käyttää itse kehittämäänsä ENKU-ohjelmaa energiankulutuksen laskentaan etenkin hankesuunnitteluvaiheessa. ENKUa käytetään laskemaan rakennuksen energiankulutus peruskorjauksen tai uudisrakennuksen tavoitteiden mukaisesti. Tällöin voidaan arvioida esim. peruskorjaushankkeessa sen vaikutusta energiankäyttöön sekä etsiä hankevaiheen tavoitteiksi ratkaisuja ja vaatimuksia tilaajan tavoitteen saavuttamiseksi.

Työ lähti tarpeesta, jossa nykyisin käytetyt oletusarvot ENKU-ohjelmassa ja energiasimuloinneissa eivät ole riittävän tarkkoja. Pumppujen osalta arvot vaikuttavat huomattavasti lopputulokseen ja päätöksentekoon, kun etsitään tilaajan tavoitteita vastaavia ratkaisuja ja luotettavia energiatavoitteita. Ongelma-alueena energialaskennassa ovat erityisesti ilmanvaihdon jäähdytysjärjestelmän pumppujen hyötysuhteiden ja energiankulutuksen arviointi. Insinöörityössä keskitytään juuri tähän ongelmakohtaan.

Työ on rajattu koskemaan toimisto- ja liikerakentamista, koska Pöyry Building Services Oy ei suunnittele laisinkaan asuinrakennuksia.

2 Suunnitteluprosessi

2.1 Hankesuunnittelun yleiset tavoitteet

Koko hankkeen toteuttamiselle kriittinen vaihe on hankesuunnitelma. Esimerkiksi uudisrakennushankkeessa hankkeen tilaaja määrittää halutut tavoitteet projektille. Hankesuunnittelu- ja luonnosvaiheessa tarkennetaan hankkeen laajuutta, laatutasoa, kustannustasoa sekä aikataulua.

Hankesuunnitelman huolellinen toteutus on ensiarvoisen tärkeää, koska se heijastuu koko projektin kulkuun. Loppuvaiheessa isompia suunnitelmamuutoksia on hankala tehdä, koska se tulee yleensä kalliiksi tilaajalle ja tällainen tilanne ei ole toivottava. Usein hankesuunnitelmalla kilpailutetaan varsinaiset suunnittelijat.

Hankesuunnitelman perusteella tehdään hankkeesta lopullinen investointipäätös. Ainakin seuraavat tekijät ovat oleellisia hankesuunnitelmassa [10, s. 35]:

- päätös rakennuspaikasta
- arkkitehtuurinen perusratkaisu, eri tilaryhmät, rakennuksen toiminnot sekä erityispiirteet
- taloteknisten järjestelmien periaateratkaisut

- tarvittavat tilat laajuuksineen ja olosuhdevaatimuksineen
- kustannustavoite
- (karkea) aikataulu
- toteutusmuoto
- viranomaislausunto (rakennuslupa).

Hankesuunnitelman perusteella tehdään siis toteuttamispäätös tai hylätään hanke esim. investoinnin kuoletusajan pituuden vuoksi. Jos kyseessä on peruskorjaushanke, nähdään tässä vaiheessa tavoiteltavien parannuksien kustannukset ja niitä verrataan saavutettaviin hyötyihin. Taloteknisten järjestelmien valinta edellyttää investointilaskentaa, jossa käyttökustannusten arviointi on keskeisessä roolissa. On tärkeää, että tehtävät investointipäätökset perustuvat luotettaviin tietoihin. [10, s. 36]

2.2 Energialaskennan osuus hankesuunnittelussa

Uudisrakennuskohteessa tilaaja asettaa energiankulutustavoitteet, mutta sen jälkeen arvoja voidaan verrata laskennalla rakentamismääräysten mukaiseen tasoon. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5 ohjeistaa rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennassa ja antaa vähimmäismääräyksiä energiankulutuksen tasosta [2].

Hankesuunnitelmassa energiankulutus on tärkeä koko rakennuksen elinkaaren kustannuksia laskettaessa. Rakennuksen elinkaarikustannuksista rakentamisen osuus on 40 vuoden kustannusjakaumalla laskettuna vain noin 10 %. Rakennuksen käyttö muodostaa noin 50 % kustannuksista. [14, s. 6]

Rakennuslupaa haettaessa on hakemukseen liitettävä energiaselvitys, joka pitää päivittää ja varmentaa pääsuunnittelijalla ennen rakennuksen käyttöönottoa. Energiaselvityksessä on esitettävä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 kohdan 4.1.1.1 [5, s. 10] mukaan seuraavat asiat:

- rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus
- ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho
- rakennuksen lämmitysteho
- arvio kesäaikaisesta huonelämpötilasta ja tarvittaessa jäähdytysteho
- energiankulutus
- rakennuksen energiatodistus.

Hankesuunnitteluvaiheen energiaselvityksessä pitää tulla ilmi edellä mainitut asiat, jotta rakennuslupa voidaan hakea rakennukselle.

2.3 Energiatodistus

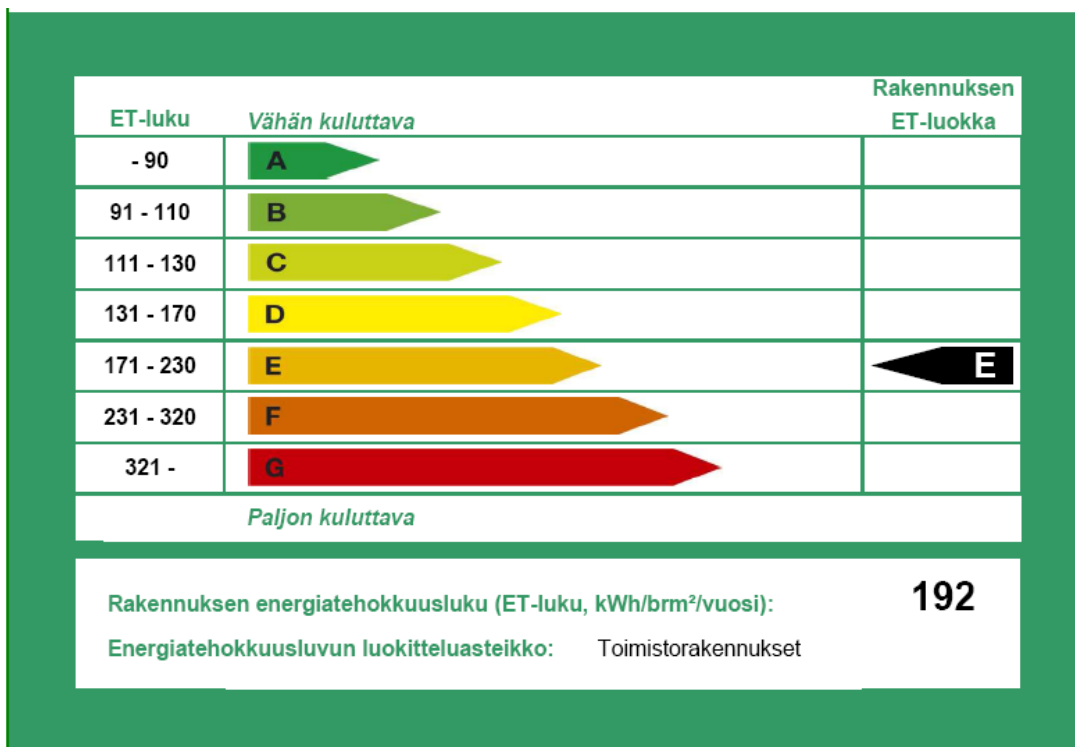
Vuoden 2008 alussa tulivat voimaan laki rakennuksen energiatodistuksesta [15] ja laki rakennuksen ilmastointijärjestelmän kylmlaitteiden energiatehokkuuden tarkastamisesta [16]. Näillä laeilla saatetaan voimaan direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta [17; 1, s. 8].

Energiatodistus kertoo rakennuksen energiatehokkuuden vertaamalla sitä muihin vastaaviin rakennuksiin. Energiatehokkuus määritetään uusille toimistorakennuksille laskennallisesti ja olemassa oleville toimistorakennuksille toteutuneen energiankulutuksen perusteella, jos arvot ovat saatavilla.

2.4 Energiatehokkuusluku

Asetuksissa määritetään, että rakennuksen energiatehokkuus ilmaistaan energiatehokkuusluvulla (ET-luvulla) [18]. Se saadaan jakamalla rakennuksen tarvitsema vuotuinen energiamäärä rakennuksen bruttopinta-alalla.

Energiatehokkuusluku sisältää rakennuksen vuotuisen lämmitys-, sähkö- ja jäähdytysenergiamäärän [1, s. 10]. Kuvan 1 esimerkissä on rakennuksen energiatehokkuusluku määritelty eräälle toimistorakennukselle.



Kuva 1. Esimerkki rakennuksen energiatehokkuusluvusta määritettynä eräälle toimistorakennukselle. Listattuna myös ET-luokat toimistorakennukselle (energiatodistusopas). [1, s. 97]

3 Energiasimulointiohjelma ENKU

3.1 Yleistä

ENKU on Pöyry Building Services Oy:n sisäisesti kehittämä energiasimulointiohjelma. Ohjelma on excel-pohjainen, ja sen viimeisin versio on 1.42D, joka on päivätty 20.4.2009.

ENKUssa on kaksi tarkkuustasoa. Karkeammalla tasolla on pelkän energiatodistuksen laadinta ja tarkemmalla tasolla voidaan tehdä kohteen yksityiskohtaisempi tarkastelu. Tällöin lähtötietoja tarvitaan enemmän, jotta pystytään mallintamaan tarkemmin kohteen kokonaisenergiankulutus ja sen jakautuminen eri osa-alueiden kesken.


Koska hankesuunnitteluvaiheessa ei yleensä ole tarkkoja lähtötietoja käytettävissä, pitää turvautua paljolti arvioihin ja oletuksiin. Näiden oletusarvojen parantaminen ja tarkentaminen on siten oleellisen tärkeää. [11]

3.2 ENKU energiankulutuslaskennassa

ENKUn laskenta-algoritmit on rakennettu Excelin soluihin. Koska ohjelmaa on kehitetty pitkän aikaa, vaatii ohjelman osaava käyttö perehtymistä. Soluissa on käytetty värejä erottamaan ne solut, mihin laskentaa varten tarvittavat arvot täytyy syöttää. Haittapuolena avoimuudesta on, että ohjelmassa kaavoja sisältäviä soluja ei ole lukittu niin, että niihin ei pystyisi syöttämään arvoja. Kokematon käyttäjä saattaaakin sotkea laskentansa täysin. Laskennan kulku on esitetty eriteltynä vaihe vaiheelta seuraavassa.

[Hanketiedot]-sivulla (kuva 2) valitaan rakennetyypit, säätyypit, lämmitystavat ja käyttövesi. Käyttövedestä pitää valita tieto siitä, onko verkostossa märkätilojen lämmityksiä, sekä vesikalusteista saatava mitoitusvesivirta.

| | | |
|----|---|---|
| 13 | TODISTUKSEN ANTAJA | |
| 14 | Asiakirjanumero | |
| 15 | Tekijä | |
| 16 | TODISTUKSEN TILAAJA | |
| 17 | rivi 1 | |
| 18 | rivi 2 | |
| 19 | rivi 3 | |
| 20 | rivi 3 | |
| 21 | | |
| 22 | htm2 | 1 288 |
| 23 | brm ² | 2 508 |
| 24 | rm ³ | 9 595 |
| 25 | Kerros määrä, maanpäälliset | 4,0 |
| 26 | Kerros määrä, maanalaiset | 0,0 |
| 27 | Valmistumisvuosi | 1 887 |
| 28 | | |
| 29 | LASKENNAN PERUSTIEDOT | |
| 30 | | |
| 31 | Kohteen sijainti | Säävyöhyke 1 |
| 32 | | |
| 33 | | Oletusarvot Korjatut |
| 34 | Mitoittava ulkolämpötila | -26 -26 |
| 35 | Vuoden keskilämpötila | +4,3 |
| 36 | Astepäiväluku | 4 447 |
| 37 | | |
| 38 | Mitoittava sisälämpötila | +20 |
| 39 | Kesäajan lämpötilan tavoite | +23 |
| 40 | Energialaskennan sisälämpötila | +21 |
| 41 | | |
| 42 | RAKENNUSTYYPPI | Toimistorakennus |
| 43 | | |
| 44 | Rakennuksen energiatehokkuusluvun luokitusasteikko | Toimistorakennukset |
| 45 | | |
| 54 | Rakennetyyppi | Toimistorakennukset, raskasrakenteinen: US betoni, VS harkko tai betoni |
| 55 | | |
| 58 | | |
| 59 | Lämmitystapa | Vesiradiaattorit meno/paluu 70/40 °C, jakojohdot eristetty |
| 60 | | |
| 67 | | |
| 68 | Käyttövesiverkosto | Ei käyttöveteen liitettyjä lämmityksiä |
| 69 | | |
| 78 | Käyttöveden mitoitusvesivirta, laskentaan vesikalusteista | 0,20 dm ³ /s |
| 79 | | |
| 80 | Alapohjan alapuolinen maapohja | Salaojittamaton hiekka tai sora |
| 81 | | |



Kuva 2. ENKU-ohjelman hanketiedot-sivu [11].

Seuraavalla [Rakenteet]-sivulla (kuva 3) valitaan vaipan umpiosien rakennetyypit, näille U-arvot, rakenneosan pinta-ala sekä viereisen tilan lämpötila.

[illegible]

Kuva 3. ENKU-ohjelman rakenteet-sivu [11].

[Tilat]-sivulla (kuva 4) määritetään eri tilatyypit, niiden pinta-alat, valaistuksen käyttöajat, valaistusintensiteetti (lux), valaistustehot (Wm^2), asetuslämpötilat kesä ja talvi, sekä ilmavirrat tulo ja poisto (dm^3/s , m^2).

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|-------|-----------------------|-----------|-----------|------------|----------|------------------|------------------|---------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------|
| 8 | Rakennusosat | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | Valaistuksen tiedot | | | | | | | Jaahdytysteho | | Ilmavirrat | | | |
| Pinta-ala | | | Henkilö- | Kulutus | äyttöaika | h/j.kerroi | Valoteho | tulo | puhdas | | | Likainen | Suhde | | |
| 10 | | | m ² | määrä | MWh/a | h/a | factor | kW | W/m ² | kW | W/m ² | poisto | poisto | poisto | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | Toimistotilat | 1 | 1 516 | 0 | 45 | 2 453 | 1,00 | 18,2 | 12 | 25 | 16 | 1,10 | 1,10 | 0,15 | 1,14 |
| 13 | | 2 | | | | | | | | | | | | | ##### |
| 14 | | 3 | | | | | | | | | | | | | ##### |
| 15 | | 4 | | | | | | | | | | | | | ##### |
| 16 | | 5 | | | | | | | | | | | | | ##### |
| 17 | | 6 | | | | | | | | | | | | | ##### |
| 18 | Ulkoalueet | ulko | 200 | | 1 | 3 500 | 1,00 | 0,2 | 1 | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | Space | number | User | LIGHTING | | | | Temperatures | Room | AIR VOLUMES | Exhaust | | |
| 21 | | | area | of spaces | estimate | Use time | Level | Power | Guidance | Winter | Summer | cooling | Usetime | Exhaust | air |
| 22 | Tilan nimi | Ryhmä | m ² /space | pcs | prs/space | h/a | lx | W/m ² | factor | °C | °C | W/m ² | l/s/m ² | l/s/m ² | quality |
| 23 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | TOIMISTOT | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | Toimistotilat | 1 | 766 | 1 | 0,06527 | 2500 | 500 | 15 | 1 | 21 | 26 | | 1,0 | 1,0 | 1 |
| 26 | Käytävät | 1 | 391 | 1 | | 2500 | 150 | 8 | 1 | 21 | 26 | | 0,5 | 0,5 | 1 |
| 27 | Neuvottelu- ja taukotilat | 1 | 34 | 1 | | 2500 | 150 | 15 | 1 | 21 | 26 | | 0,5 | 0,5 | 1 |
| 28 | Porrashuone | 1 | 246 | 1 | | 2500 | 150 | 10 | 1 | 21 | 26 | | 0,5 | 0,5 | 1 |
| 29 | Tekniset tilat | 1 | 49 | 1 | | 300 | 200 | 8 | 1 | 21 | 26 | | | | |
| 30 | WC-tilat | 1 | 30 | 1 | | 2500 | 200 | 8 | 1 | 21 | 26 | | | 5,0 | 3 |
| 31 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | PIHA | | | | | | | | | | | | | | |
| 33 | Sisäpiha | ulko | 200 | 1 | | 3500 | 50 | 1 | 1 | | | | | | |
| 34 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 35 | | | | | | | | | | | | | | | |

Kuva 4. ENKU-ohjelman tilat-sivu [11].

[IV]-sivulla (kuva 5) määritetään eri ilmankäsittelykoneiden tiedot sisältäen erilliset tulo- ja poistokoneet, ilmapirrat, puhaltimien sähkötehotiedot ja LTO:n vuotuinen hyötysuhde. Tarkempina tietoina voidaan antaa kesä- ja talvilämpötilat, jäteilman minimilämpötila, käyttökerroin, sekä tieto mahdollisesta jäähdytyksestä. Lopuksi määritetään viikoittainen käyntiaika tunteina. Tässä kohdassa voidaan määrittää arkipäivät, lauantai ja sunnuntai erikseen. Viikoittainen tuntimäärä muunnetaan taulukossa vuotuiseksi käyntiajaksi. Käyttökertoimen eli käyttöajan kertoimen, käytetään muuta arvoa kuin 1 siinä tapauksessa, että suunnitellusta käyntiajasta kone seisoo toimimattomana.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------------------------------|------------|--------------|-------------|---------------|----------|----------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------|---------------|-------------|--------------------|--------------------|--|--|
| 8 | | Supply air | Supply power | Exhaust air | Exhaust power | SFP | Average heat recovery rate | Supply air summer | Supply air winter | | | | | | | | |
| 9 | | m³/s | kW | m³/s | kW | kW/m³/s | % | °C | °C | | | | | | | | |
| 10 | Air handling units | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | #JAKO/0! | #JAKO/0! | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0,0 | | | |
| 11 | Separate supply devices | 2,1 | 2,2 | - | - | 1,1 | - | 18,0 | 20,0 | - | 1,0 | 2 607 | 2,2 | 5,7 | | | |
| 12 | Separate exhausts | - | - | 2,0 | 1,3 | 0,6 | - | - | - | - | 1,0 | 4 231 | 1,3 | 8,4 | | | |
| 13 | Overall | 2,1 | 2,2 | 2,0 | 1,3 | 0,6 | 0 % | 18,0 | 20,0 | | Capacity | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | SFP for the system | | 1,66 kW/m³/s | | | | | | | | | 4984,8 | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | Annual | EXTRA INFORMATION | | | | | | | | | |
| 18 | Air handling units | Supply air | Power | Exhaust | Power | SFP | heat recovery rate | summer °C | winter °C | Jäteilman min lämpöt | Käyttö-kerroin | Jäähdytys K/E | Käyttö-aika | Max Sähkön teho kW | Sähkön kulutus MWh | | |
| 19 | | m³/s | kW | m³/s | kW | kW/m³/s | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | 0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 21 | | | | | | | | | | | | | 0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | 0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 23 | | | | | | | | | | | | | 0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 24 | | | | | | | | | | | 1 | | 0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 25 | | | | | | | | | | | 1 | | 0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 26 | | | | | | | | | | | 1 | | 0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 27 | | | | | | | | | | | 1 | | 0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 28 | | | | | | | | | | | 1 | | 0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 29 | Supply air units | Supply air | Power | | | SFP | | summer °C | winter °C | Jäteilman min lämpöt | Käyttö-kerroin | | Käyttö-aika | | | | |
| 30 | | m³/s | kW | | | kW/m³/s | | | | | | | | | | | |
| 31 | Toimistojen käytävät | 2,08 | 2,2 | | | 1,1 | - | 18 | 20 | | 1 | E | 2 607 | 2,2 | 5,7 | | |
| 32 | | | | | | | - | | | | 1 | | 0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 33 | | | | | | | - | | | | 1 | | 0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 34 | | | | | | | - | | | | 1 | | 0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 35 | | | | | | | - | | | | 1 | | 0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 36 | | | | | | | - | | | | 1 | | 0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 37 | | | | | | | - | | | | 1 | | 0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 38 | Exhaust units | | | Exhaust | Power | SFP | | summer °C | winter °C | Jäteilman min lämpöt | Käyttö-kerroin | | Käyttö-aika | | | | |
| 39 | | | | m³/s | kW | kW/m³/s | | | | | | | | | | | |
| 40 | 31PF12 poisto toimistot | | | 1,33 | 0,8 | 0,6 | - | | | | 1 | | 2 607 | 0,8 | 2,0 | | |
| 41 | 32PF11 WC-tilat | | | 0,39 | 0,3 | 0,6 | - | | | | 1 | | 8 760 | 0,3 | 2,2 | | |
| 42 | 33PF11 L.J.H poistot | | | 0,28 | 0,3 | 0,9 | - | | | | 1 | | 5 684 | 0,3 | 1,0 | | |
| 43 | 35PF11 Käytävät VN arkisto | | | | | | - | | | | 1 | | 0 | 0,0 | 2,2 | | |
| 44 | Ei huomioida IV-konehuonetta | | | | | | - | | | | 1 | | 0 | 0,0 | 1,0 | | |
| 45 | eika hissikonehuonetta | | | | | | - | | | | 1 | | 0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 46 | | | | | | | - | | | | 1 | | 0 | 0,0 | 0,0 | | |

Kuva 5. ENKU-ohjelman IV-sivu [11].

[Laitteet]-sivulla (kuva 6) määritetään rakennuksen energiankulutukseen kuuluvia laitteita kuten ulkovalaisimia, sisävalaisimia (jotka eivät sisälly yllä määritettyyn yleisvalaistukseen), ilmanvaihtolaitteita (jotka eivät sisälly yllä määritettyihin IV-koneisiin, esim. hissikonehuoneen poistoilmahuoneeseen), talotekniikan pumput, jäähdytykset sisältäen tekniset jäähdytykset ja pumput, sähkölämmitykset ja sulatukset, erilaiset kiinteät laitteet sekä käyttäjä- ja vuokralaissähkö. Näille laitteille määritetään kappalemäärä, sähköteho, käyttöaika, ohjauskerroin ja lämpökuormakerroin.

Ohjauskerrointa käytetään energiankulutuslaskennassa sähkölaitteille. Tämä tarkoittaa sitä, että jos laitteilla on keskitetty päälle/pois-kytkentä, niin käytetään arvoa 1. Jos yksittäistä laitetta on mahdollista ohjata erikseen, pitää käyttää sopivaa kerrointa. Lämpökuormakertoimella voidaan ilmaista, jos sähkölaitteen käyttämästä energiasta saadaan lämpökuormana rakennukseen hyödynnettävissä olevaa lämpöenergiaa.

| | | | | | | | | | | |
|----|--|-------|------------|---------|---------|--------------|-----------|-----------------|---------|---------|
| 8 | | | Yhteenveto | | | Teholaskenta | | Kulutuslaskenta | | |
| 9 | | | Sähkäteho | Kulutus | Lämpök. | Määrä | Sähkäteho | Käyttöaika | Ohjaus- | LÄMPÖ- |
| 10 | Laite | Ryhmä | kW | kWh | kWh | kpl | W | h/a | kerroin | KUORMA |
| 18 | | | 0,0 | 0 | 0 | | | | | 1,0 |
| 19 | | | 0,0 | 0 | 0 | | | | | 1,0 |
| 20 | | | 0,0 | 0 | 0 | | | | | 1,0 |
| 21 | | | 0,0 | 0 | 0 | | | | | 1,0 |
| 22 | | | 0,0 | 0 | 0 | | | | | 1,0 |
| 23 | ILMANVAIHTOLAITTEET (muut kuin IV-sivulla syötetyt tulo- ja poistokoneet) | | | | | | | | | |
| 24 | | | kW | kWh | kWh | Määrä | Teho | Käyttöaika | Ohjaus- | Lämpök. |
| 25 | Hissikonehuoneen poisto | | 0,3 | 2 190 | 1 095 | kpl | W/kpl | h/a | kerroin | kerroin |
| 26 | | | 0,0 | 0 | 0 | | | | | 0,5 |
| 27 | | | 0,0 | 0 | 0 | | | | | 0,5 |
| 28 | PUMPUT | | | | | | | | | |
| 29 | | | kW | kWh | kWh | Määrä | Teho | Käyttöaika | Ohjaus- | Lämpök. |
| 30 | Tuloilmakoneen pumppu | PU | 0,6 | 1 434 | 0 | kpl | W/kpl | h/a | kerroin | kerroin |
| 31 | Patteriryhmä | PU | 1,1 | 9 636 | 0 | 1 | 1 100 | 8760 | 1 | 0,0 |
| 32 | Ilmanvaihtoryhmä | PU | 0,8 | 1 955 | 0 | 1 | 750 | 2 607 | 1 | 0,0 |
| 33 | Lämmin käyttövesi | PU | 0,6 | 4 818 | 0 | 1 | 550 | 8760 | 1 | 0,0 |
| 34 | Jäähdytyksen pumppu | PUJ | 7,5 | 19 553 | 0 | 1 | 7500 | 2607 | 1 | 0,0 |
| 35 | JÄÄHDYTYKSET (Tekniset jäähdytykset ja pumput, tilajäähdytys lasketaan erikseen) | | | | | | | | | |
| 36 | Laite | Ryhmä | kW | kWh | kWh | kpl | W | h/a | kerroin | KUORMA |
| 37 | | | 0,0 | 0 | 0 | | | | | 0,0 |
| 38 | | | 0,0 | 0 | 0 | | | | | 0,0 |
| 39 | | | 0,0 | 0 | 0 | | | | | 0,0 |
| 40 | | | 0,0 | 0 | 0 | | | | | 0,0 |
| 41 | SÄHKÖLÄMMITYKSET JA SULATUKSET | | | | | | | | | |
| 42 | Laite | Ryhmä | kW | kWh | kWh | kpl | W | h/a | kerroin | KUORMA |
| 43 | Sulatukset | SUL | 3,0 | 7 500 | 0 | 10 | 300 | 2500 | 1 | 0,0 |
| 44 | | | 0,0 | 0 | 0 | 20 | | | | |
| 45 | KIINTEÄT LAITTEET | | | | | | | | | |
| 46 | Laite | Ryhmä | kW | kWh | kWh | kpl | W | h/a | kerroin | KUORMA |
| 47 | | | 0,0 | 0 | 0 | | | | | 0,0 |
| 48 | | | 0,0 | 0 | 0 | | | | | 0,0 |
| 49 | | | 0,0 | 0 | 0 | | | | | 0,0 |

Kuva 6. ENKU-ohjelman laitteet-sivu [11].

[Vesi]-sivulla (kuva 7) lasketaan rakennuksen vuotuinen vedenkulutus. Vedenkulutus koostuu kolmesta osiosta, jotka ovat musta vesi eli jätevesi, joka sisältää ihmisestä tulevia kiinteitä jätöksiä, harmaa vesi eli vesi, joka tulee esim. peseytymisestä sekä ruoan laitosta, sekä erilliskuluttajat. Mustan veden osuuteen voidaan sisällyttää erilaisia käyttäjäryhmiä, käyttäjäryhmiin voidaan tarkentaa henkilömäärä, ominaiskulutus muodossa $\text{dm}^3/\text{käyttötyyppi}$, käyttömäärä muodossa kertaa/päivä ja lämpimän veden osuus tästä prosenteissa.

Harmaan veden osuuteen voidaan sisällyttää eri kulutusryhmiä, näiden kohdalle bruttoneliöala rakennuksesta, kulutus litroissa bruttoneliötä kohti vuodessa, korjauskerroin ja lämpimän veden prosentuaalinen osuus tästä kulutuksesta. Erilliskulutusryhmään voidaan tarkentaa esim. keittiö, jolle määritetään vesipisteiden määrä tai vastaavasti pinta-ala, ominaiskulutus $\text{dm}^3/\text{määrä}$ tai pinta-ala riippuen siitä, kumpaa käytetään, korjauskerroin ja lämpimän veden osuus prosenteissa.

| | | | | | | |
|----|----------------------------|---|------------|---------------------------|------------------------------|--------------------|
| 8 | Vuosikulutus | 836 m³ | | | | |
| 9 | Ominaiskulutukset | 87 dm³/rm³/a | | | | |
| 10 | | 333 dm³/brm²/a | | | | |
| 11 | ET Lämpimän veden kulutus | 836 | | ET Lämpimän veden kulutus | 100 | 30 % |
| 12 | Lämpimän veden osuus | | | Lämpimän veden määrä | 250,8 | rm ² |
| 13 | Laskennallinen kulutus | 0 | | 30 % | | |
| 14 | | | | Käyttöpäivien määrä | 260 | pvä/vuosi |
| 15 | | | | | | |
| 16 | Musta vesi | 0 | 0 % | Käyttäjät | Om.kulutus | Käyttömäärä |
| 17 | | | | Hlö | dm³/käyttö | krt/pvä |
| 18 | Kokopäiväinen henkilökunta | 0 | 100 % | 0 | 6 | 4 |
| 19 | Osa-aikainen henkilökunta | 0 | | 0 | 6 | 4 |
| 20 | Asukkaat | 0 | | 0 | 6 | 5 |
| 21 | Asiakkaat, lyhytaikaiset | 0 | | 0 | 6 | 0 |
| 22 | Asiakkaat, pitkäaikaiset | 0 | | 0 | 6 | 1 |
| 23 | | | | | | |
| 24 | Harmaa vesi | 0 | 0 % | | | Korjaus- |
| 25 | | | | brm² | l/brm²/a | kerroin |
| 26 | Arviokulutus | 0 | | 2508 | 0 | 1,00 |
| 27 | Arviokulutus | 0 | | 2508 | 0 | 1,00 |
| 28 | Arviokulutus | 0 | | 2508 | 0 | 1,00 |
| 29 | Arviokulutus | 0 | | 2508 | 0 | 1,00 |
| 30 | | | | | | |
| 31 | Erilliskuluttajat | 0 | 0 % | Lähtöarvot | om.kulutus | Korjaus- |
| 32 | | | | määrä | dm³/määrä | kerroin |
| 33 | Keittiö | 0 | #VIITTAUS! | 2508 | 0 | 1,00 |
| 34 | | 0 | | | | |
| 35 | | 0 | | | | |
| 36 | | 0 | | | | |
| 37 | | 0 | | | | |
| 38 | | | | | | |

Kuva 7. ENKU-ohjelman vesi-sivu [11].

Näiden yllämainittujen kohtien perusteella saadaan laskentatuloksia ENKUsta ulos. Laskentatulokset päivittyvät automaattisesti energiatodistuspohjaan, jolloin saadaan uuden tai peruskorjattavan kohteen energiatodistus annettua. Samoin saadaan tulosteina ulos

- kustannustietoja rakennuksen energiankulutuksesta vuositasolla
- lämmityskustannuksien kuukausittaiset lukemat ja graafiset kuvaajat
- keskimääräinen sisälämpötilakuvaaja
- vuotuinen lämmönkulutuslukema ja graafinen kuvaaja

- vuotuinen sähkönkulutus laiteryhmittäin jaoteltuna
- lämmitystehontarve rakenteiden mukaan jaoteltuna sekä
- mahdollinen jäähdytystehontarve eriteltynä tilajäähdytykseen, tuloilmajäähdytykseen sekä laitejäähdytykseen.

ENKU sisältää [Kustannus]-välilehdellä eri lämmitysmuotojen yksikköhinnat sekä sähkön hinnan. Ohjelmaan on määritetty oletusarvot, mutta käyttäjän täytyy päivittää yksikköhinnat vastaamaan kulloistakin hintaa.

| | | | | | | | |
|----|------------------------------|---------------------------|----------------|---------|-------------------------|----------------------|----------------|
| 8 | Vuosikustannus | 31 406 € (alv 0%) | | | | | |
| 9 | Ominaiskustannukset | 3,3 €/rm³/a | | | | | |
| 10 | | 12,5 €/brm²/a | | | | | |
| 11 | | 203 snt/htm²/kk | | | | | |
| 12 | Vaihtoehtoiset polttoaineet | | | | | | |
| 13 | Polttoaine | Kustannus €/a (alv 0%) | Kulutus yks | Yksikkö | Tuotannon hyötysuhde | Lämpöarvo kWh/yks | Hinta €/yks |
| 14 | Kaukolämpö | 22 017 | 305 | MWh | 1,0 | 1 kWh/kWh | 72,3 |
| 15 | Sähkölämmitys | 24 371 | 305 | MWh(1) | 1,0 | 1 kWh/kWh | 80,0 |
| 16 | Maalämpöpumppu | 9 748 | 122 | MWh | 2,5 | 2,5 kWh/kWh | 80,0 |
| 17 | Raskas polttoöljy | 13 480 | 29,7 | tonnia | 0,9 | 11,4 kWh/kg | 454,0 |
| 18 | Kevyt polttoöljy | 22 712 | 33,8 | m³ | 0,9 | 10,0 kWh/dm³ | 671,0 |
| 19 | Maakaasu | 7 650 | 33,8 | m³n | 0,9 | 10,0 kWh/m³n | 226,0 |
| 20 | Polttopuu yleensä (pilkkeet) | 0 | 106,1 | tonnia | 0,7 | 4,1 kWh/kg | |
| 21 | Pilkkeet (havuja sekapuu) | 0 | 0,3 | pino-m³ | 0,7 | 1300 kWh/pinom³ | |
| 22 | Pilkkeet (koivu) | 0 | 0,3 | pino-m³ | 0,7 | 1700 kWh/pinom³ | |
| 23 | Puupelletit | 0 | 81,0 | tonnia | 0,8 | 4,7 kWh/kg | |
| 24 | Polttohake | 4 733 | 0,4 | irtom³ | 0,8 | 900 kWh/irtom³ | 11 187,0 |
| 25 | Kivihiili | 6 858 | 65,9 | tonnia | 0,7 | 6,6 kWh/kg | 104,0 |
| 26 | Palaturve | 5 096 | 131,9 | tonnia | 0,7 | 3,3 kWh/kg | 38,6 |
| 27 | Puubriketit | 0 | 79,3 | tonnia | 0,8 | 4,8 kWh/kg | |
| 28 | | | | | | | |

Kuva 8. ENKU-ohjelman kustannus-sivu [11].

4 Kiertovesiverkostot

4.1 Yleistä

Kiertovesiverkostolla tarkoitetaan kiinteistössä olevia vettä sisältäviä verkostoja, joissa on meno- sekä paluupiiri. Verkosto on täten suljettu järjestelmä, josta ei poistu eikä siihen lisätä vettä. Tällaisia verkostoja ovat esimerkiksi

- lämmityspatteripiiri
- ilmastointikoneen lämmityspatteripiiri
- lämpimän käyttöveden kiertopiiri
- ilmastoinnin jäähdytyspatteripiiri
- tilojen jäähdytyspiiri.

Tilojen jäähdytyspiirillä eli jäähdytysverkostolla tarkoitetaan rakennuksen eri tiloissa kiertävän veden putkiverkostoa ja siihen liitettyjä laitteita, kuten jäähdytyspalkkeja ja puhallinkonvektoreita. Yleisimmin toimistorakennuksen verkostossa kiertää vesi (8/16 °C).

Ympäristöministeriön energiatodistusopas 2007:n esimerkissä toimistorakennuksen energiankulutuksesta voidaan laskea, että jäähdytysenergian osuus rakennuksen koko energiankulutuksesta on noin seitsemän prosentin luokkaa eikä tässä lukemassa ole laskettu mukaan jäähdytyksen pumppujen tai muiden pumppujen kuluttamaa sähköenergiaa, joka lasketaan mukaan kiinteistösähkön osuuteen.

Jos lasketaan jäähdytysenergian kulutus, kaikkien pumppujen energiankulutukset yhteen sekä jäähdytysjärjestelmään kuuluvat laitteet, kuten vedenjäähdytyskoneet päästään melkein 8 prosenttiin. Tämä ei kuulosta kovin isolta osuudelta, mutta täytyy muistaa energiansäästöissä se, että pienistä puroista kertyvät isot säästöt. [1]

Energiankulutukseen ollaan yhä enemmän osoittamassa huomiota sekä Euroopan Unionissa että valtiollisesti. Euroopan Unionin direktiivi 2005/32/EY koskee akselitiivisteettömien kiertovesipumppujen ekologista suunnittelua ja niiden energiankulutusta. Direktiivi asettaa seuraavat vaatimukset kiertovesipumpuille:

1.1.2013 alkaen kiertovesipumppujen energiatehokkuusindeksi (EEI) saa olla enintään 0,27. 1.1.2015 EEI laskee vielä alemmas ja on 0,23 [7, s. 4].

Energiatehokkuusindeksi (EEI) on sähkölaitteille kehitetty luokitteluasteikko, jossa lasketaan vertailuluku keskimääräisen pumpun ottotehon ($P_{L,avg}$) ja vertailutehon (P_{ref}) suhteena kaavalla 1 [7]:

$$EEI = \frac{P_{L,avg}}{P_{ref}} [-] \quad (1)$$

Kaavassa P_{ref} on vuoden 2002 vastaavien pumppumallien keskimääräinen ottoteho ja tämä on samalla kalibrintivuosi, sillä vuoden 2002 keskitason pumppujen $EEI = 1$. Mitä matalampi on EEI, sitä tehokkaampi pumppu. Merkinnän käyttö on toistaiseksi vapaaehtoista muuten, mutta uusilla pumpuilla EEI-arvo on merkittävä pumpun arvokilpeen. Parhaimmat pumput ovat luokassa A, eli tällä hetkellä parhaimmassa luokituksessa, esim. Grundfosin Magna-sarjan pumput.

4.2 Pumput

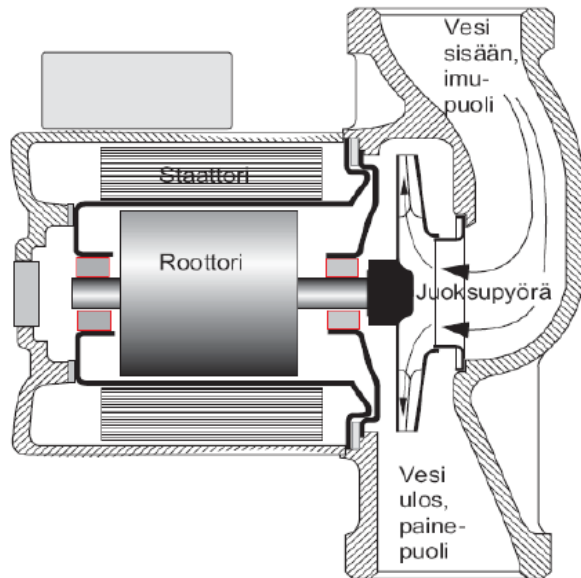
Rakennusten kiertovesiverkoston pumput ovat eräs sähkötehokkuuden parantamiskohteita tulevaisuudessa. Kaikkien kiertovesipumppujen energiankulutus EU27-maiden kokonaisenergiankulutuksesta on 2 %. Tämä tarkoittaa noin 2 500 TWh sähköenergiaa vuodessa. Jos kaikki EU27-maiden kotitalouksissa olevat kiertovesipumput, jotka kuluttavat 50 TWh vuodessa, vaihdettaisiin Energy+ tyyppin energiaa säästävään pumppuun, voitaisiin säästää jopa 60 % energiaa oikealla pumppujen mitoituksella sekä pumppujen ohjauksella.[3]



Kuva 9. Kolmeks Oy:n AE-20/2 keskipakopumppu [19].

LVI-tekniikassa ja etenkin kiertovesiverkostoissa käytetään lähes yksinomaan keskipakopumppuja, kuten kuvassa 9 esitetty Kolmeks Oy:n pumppu. Se soveltuu sekä prosessiteollisuuden että rakennusten kiertovesiverkostojen pumppaukseen laajan nestetyyppisoveltuvuuden takia. Yleisimmin keskipakopumppua käytetään matalan viskositeetin omaavien nesteiden pumppaukseen.

Tyypillisessä keskipakopumpussa neste syötetään pumpun imupuolelta, joka sijaitsee juoksupyörän keskellä. Juoksupyörän pyörivän liikkeen vaikutuksesta pumpattava neste sinkoutuu ulospäin juoksupyörän lapojen suuntaisesti. Neste saavuttaa pumpun korkeasta pyörimisnopeudesta johtuen suuren kineettisen energian. Imupuolen ja painepuolen virtaamat, virtausalat ja siis myös virtausnopeudet ovat yhtä suuret. Siipipyörässä ja ulospurkauskohdassa vallitseva suuri dynaaminen paine muuttuu staattiseksi paineeksi virtausalan kasvaessa, joten paine-ero pumpun imupuolen ja painepuolen välillä kasvaa (kuva 10). Toisin sanoen osa nesteen kineettisestä energiasta muuttuu paine-energiaksi.



Kuva 10. Keskipakopumpun rakenne [20, s. 22].

4.3 Energiankulutus, ominaiskäyrä ja toimintapiste

Pumpun nostokorkeudella tarkoitetaan painetta, jota täytyy tuottaa, jotta nestevirta siirtyy paikasta toiseen. Pumpun tuottaman paineen ja nostokorkeuden välillä on seuraava riippuvuus.

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot H \quad (2)$$

| | | |
|------------|-------------------------------|--------------------------|
| Δp | on pumpun tuottama paine-ero | [Pa] |
| ρ | on pumpattavan nesteen tiheys | [kg/m ³] |
| g | on maan vetovoiman kiihtyvyys | [9,81 m/s ²] |
| H | on nostokorkeus (vesipatsas) | [m] |

[12, s. 13]

Pumppauksen nostokorkeus on mahdollista määrittää laskemalla, kunhan seuraavat suureet ovat tiedossa.

$$H = H_{geod} + \frac{p_p - p_i}{\rho g} 10^5 + \frac{w_p^2 - w_i^2}{2g} + H_p + H_i \quad (3)$$

| | | |
|------------|---|----------------------|
| H_{geod} | on tulo- ja painepuolen nestepintojen välinen korkeusero | [m] |
| p_p | on painepuolen paine | [bar] |
| p_i | on tulopuolen paine | [bar] |
| ρ | on nesteen tiheys | [kg/m ³] |
| g | on maan vetovoiman kiihtyvyys | [m/s ²] |
| w_p | on virtausnopeus painepuolen putkessa | [m/s] |
| w_i | on virtausnopeus tulopuolen putkessa | [m/s] |
| H_p | on painepuolen virtausvastus | [m] |
| H_i | on tulopuolen virtausvastus | [m] |

[12, s. 14]

Paineen lisäys on suoraan verrannollinen nesteen tiheyteen. Tämä tulee ottaa huomioon pumpatessa erilaisia nesteitä. Myös nesteen lämpötila vaikuttaa sen ominaispainoon, joten sekin tulee ottaa huomioon laskettaessa nostokorkeutta.

Tilavuusvirralla tarkoitetaan nestetilavuutta, jonka pumppu siirtää tietyssä ajassa.

Tilavuusvirta saadaan laskettua putken poikkipinta-alan ja nopeuden avulla seuraavalla kaavalla.

$$q_V = A \cdot w \quad (4)$$

q_V on tilavuusvirta [m³/s]

w on nopeus [m/s]

A on virtauksen poikkipinta-ala [m²]

[12, s. 15]

Fysiikassa teho (tunnus P) on tehdyn työn tai käytetyn energian määrä aikayksikössä.

Tehon SI-yksikkö on watti (W), joka vastaa joulen energiamäärää sekunnissa.

Pumppauksen teoreettinen teho voidaan laskea nostokorkeuden ja tilavuusvirran avulla kaavalla (5).

$$P_{teor} = \rho \cdot g \cdot q_V \cdot H = q_V \cdot \Delta p \quad (5)$$

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot q_V \cdot H}{\eta_{pumppu}} \quad (6)$$

ρ on pumpattavan nesteen tiheys [kg/m³]

g on maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys [m/s²]

q_V on tilavuusvirta [m³/s]

H on nostokorkeus (vesipatsas) [m]

η_{pumppu} on pumpun hyötysuhde [-]

[12, s. 15]

Todellinen pumpun tehontarve on teho, jonka pumppu ottaa moottorilta. Osalla tästä energiasta korvataan pumpussa syntyvät häviöt ja loppuosa käytetään nesteen siirtämiseen.

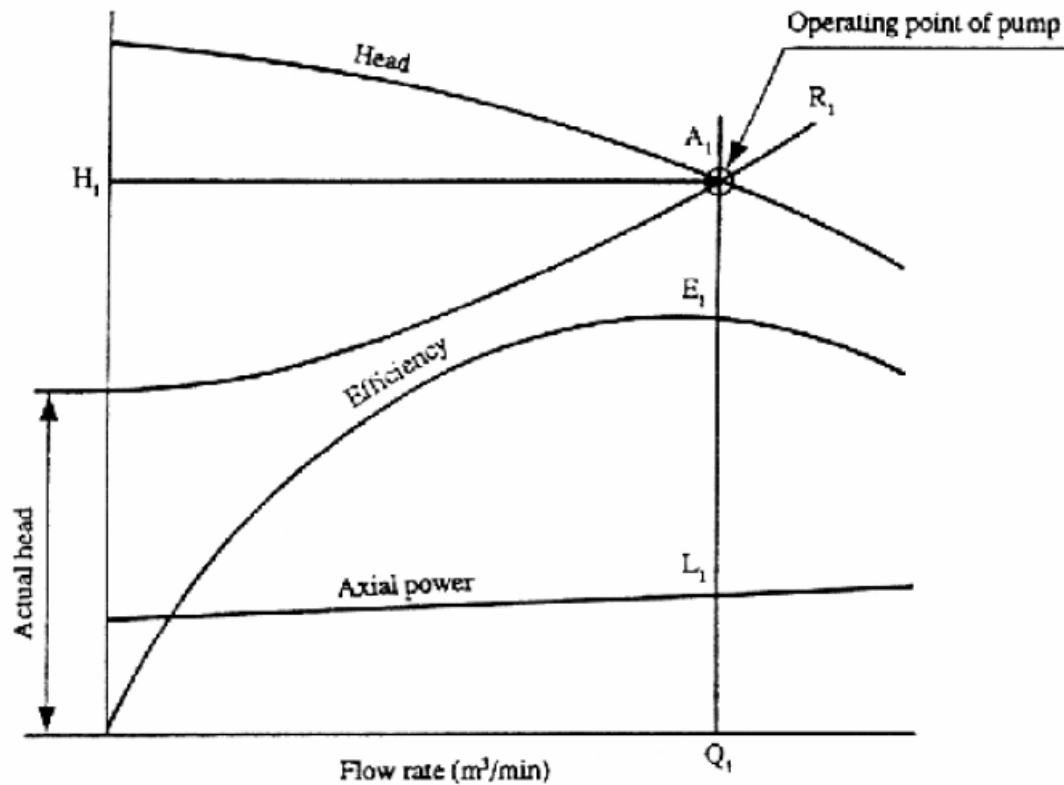
Pumpun virtaamalla eli tilavuusvirralla tarkoitetaan sitä vesivirtaamaa, jolla saavutetaan tarvittava lämmitys- tai jäähdytysteho.

Virtaama lasketaan kaavalla 7.

$$q_v = \frac{\phi}{c_p \cdot \rho \cdot \Delta t} \quad (7)$$

| | | |
|------------|--|-----------------------|
| q_v | on tilavuusvirta | [dm ³ /s] |
| ϕ | on verkostossa tarvittava teho | [kW] |
| c_p | on nesteen ominaislämpö verkoston keskilämpötilassa | [kJ/kg°C] |
| ρ | on pumpattavan nesteen tiheys | [kg/dm ³] |
| Δt | on verkoston meno- ja paluuveden lämpötilaero | [°C] |

Pumpun ominaiskäyrä on tarkoitettu kuvaamaan pumpun virtaamaa eri nostokorkeuksilla. Pumppujen mitoituksessa on tärkeää saavuttaa hyvä hyötysuhde. Pumpun toimintapiste asettuu pumpun ominaiskäyrän ja verkoston ominaiskäyrän leikkauspisteeseen, ja pumppu pyritään valitsemaan siten, että toimintapisteessä pumpun hyötysuhde olisi korkeimmillaan (kuva 11).



Kuva 11. Pumpun ominaiskäyrä, verkoston ominaiskäyrä, pumpun hyötysuhteen ja akselitehon kuvaajat sekä toimintapiste (Q_1 , H_1) [3].

4.4 Hyötysuhde

Hyötysuhde on laskennallinen arvo, jolla ilmoitetaan, kuinka suuren osan pumppuun tuodusta tehosta pumppu käyttää jatkuvan nesteen siirtämisen ylläpitämiseksi.

Hyötysuhteeseen vaikuttaa pumppuosan hyötysuhde, sähkömoottorin hyötysuhde sekä taajuusmuuttajan hyötysuhde, jota ei käsitellä tässä työssä.

Pumpun hyötysuhde (η) saadaan selville, kun verrataan mitattua tehoa (P_{tod}) laskennalliseen teoreettiseen tehoon (P_{teor}). Esimerkkipumpun hyötysuhdekäyrä on esitetty kuvassa 12, mistä nähdään hyötysuhteen muutos virtaaman ja juoksupyörän halkaisijan suhteen.

$$\eta = \frac{P_{teor}}{P_{tod}} \quad (8)$$

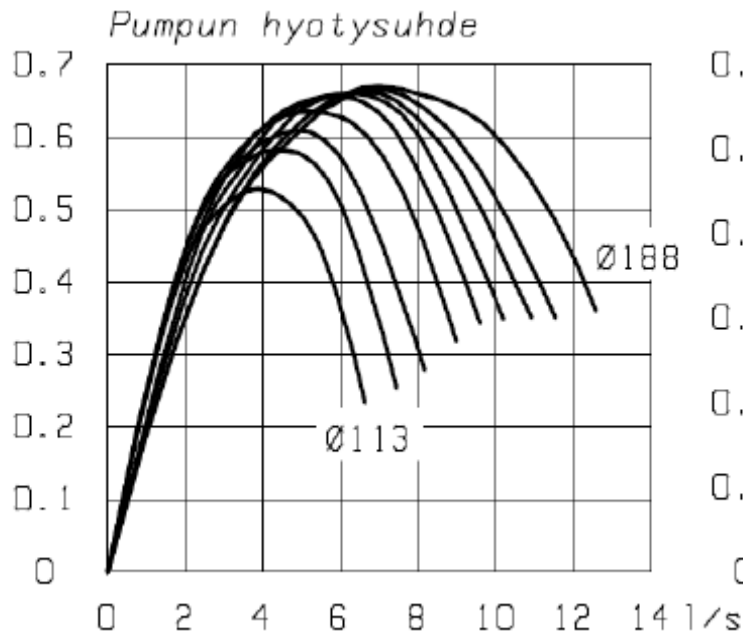
Kaavassa 6 puhutaan teoreettisen tehon laskennasta, kun hyötysuhde on tiedossa.

Kaavalla 8 lasketaan teoreettisen tehon suhde todelliseen mitattuun tehoon [12, s. 16].

Pumpuille on asetettu tiettyjä minimihyötysuhdevaatimuksia, jotka ovat riippuvaisia virtaamasta (dm³/s). Nyrkkisääntö on, että mitä suurempi virtaama, sitä parempi hyötysuhde. Vaatimukset ovat listattuna alla.

| Virtaus | Hyötysuhde |
|-----------|------------|
| > 0,5 l/s | > 10 % |
| > 1,0 l/s | > 20 % |
| > 2,0 l/s | > 35 % |
| > 4,0 l/s | > 40 % |
| > 7,0 l/s | > 45 % |
| > 10 l/s | > 50 % |
| > 20 l/s | > 55 % |

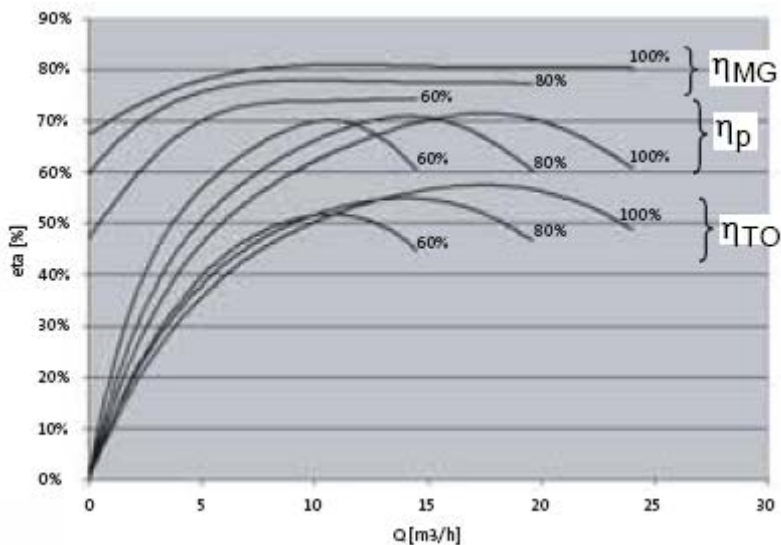
Nämä vaatimukset ovat suoraan Erkki Sainion kone- ja energiatekniikan luentomonisteesta ja pätevät ohjenuorana, kun liikutaan pienehköillä tehoilla ja pienehköillä pumpuilla [20].



Kuva 12. Esimerkki pumpun hyötysuhdekäyrästä [13].

Pumpun hyötysuhteen määrittäminen on tärkeää, jotta saadaan arvio pumpun käyttämästä energiasta. Tässä piilee ongelma, johon monesti kompastutaan energiankulutuslaskelmissa. Jos lasketaan pumpun käyttämä energia arvioidulla käyttöajalla, pumpun virtaamalla, virrankulutuksella sekä hyötysuhteella, joudutaan tilanteeseen, jossa oletetaan pumpun toimivan koko tämän ajan 100 % kuormalla. Tämä ei kuvaa todellista tilannetta, jossa pumpu käy tällä kuormalla ehkä 5–10 % ajasta. Pitää löytää sopiva kuvaaja, millä määrittää pumpun karkeat toiminta-ajat eri kuormituksella ja laskea näille kaikille oma hyötysuhteensa. Tästä taas voidaan johtaa painotettu keskiarvo hyötysuhteelle, joka vastaa enemmän todellista tilannetta.

Nykyaikaisessa pumppausjärjestelmässä on pääasiassa aina taajuusmuuttaja, jolla ohjataan pumpun käyntiä kuormituksen suhteen. Vaikka virtaaman pienentäminen virran taajuutta muuttamalla heikentääkin hiukan hyötysuhdetta, tämä on yleensä aina hyödyllistä, sillä energiansäästöt ovat merkittävät (kuva 13).



Kuva 13. Grundfosin E-pumpun MGE-moottorin(MG), pumppuosan(p) ja koko pumpun(TO) hyötysuhdekäyrät 100 %, 80 % ja 60 % nopeudella [13].

5 Hyötysuhde laskentaa varten

5.1 Hyötysuhteen arviointi

Kuten edellä on kerrottu, vaikuttaa moni asia pumpun ja siten koko pumppausjärjestelmän hyötysuhteeseen ja energiatehokkuuteen.

Pumppausjärjestelmällä tarkoitetaan putkistoja, venttiilejä, pumppuja, apupumppuja, lämmönsiirtimiä ja pumppauksen ohjauslaitteita.

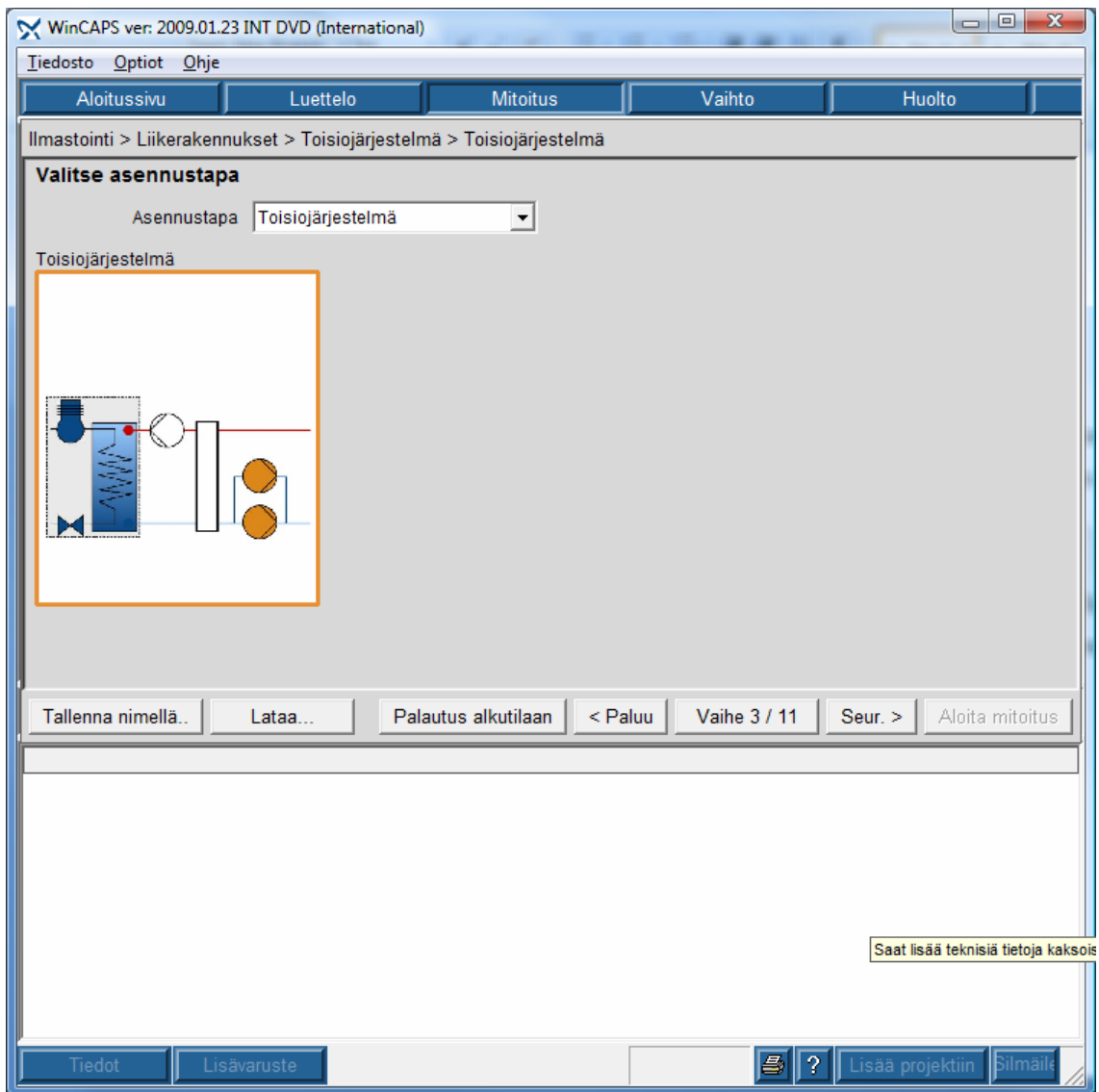
Karkeasti ottaen pumppusuunnittelija yleensä valitsee ylisuuren pumpun kohteeseen, jolloin hyötysuhde ei ole paras mahdollinen pumppauskohteeseen, oli pumpun virtaama sitten 100 % tai 50 % mitoitusvirtaamasta [6]. Jos virtaamaa muutetaan pumpun käyntiaikana, voidaan eri virtaamilla silti päästä hyvään hyötysuhteeseen ilman, että pumppua pitäisi vaihtaa. Tähän tavoitteeseen päästään taajuusmuuttajasäätöisillä pumppausjärjestelmillä. Näin pystytään pitämään yllä tarpeeksi energiatehokas pumppaus vaikka virtaama muuttuisi. Tämä voidaan todeta esim. kuvan 13 käyrästä.

Nyrkkisääntö on, että mitä suurempi virtaama, sitä parempi hyötysuhde. Kun liikutaan jäähdytystehoalueella 500–1500 kW, on todellinen hyötysuhde pumppauksessa noin 60–70 %, kun pumppu on oikein mitoitetu.

Hyötysuhteen arvioinnissa hankesuunnitteluvaiheeseen on tukeuduttu sekä toteutuneisiin kohteisiin että pumppuvalmistajilta saatuihin tietoihin.

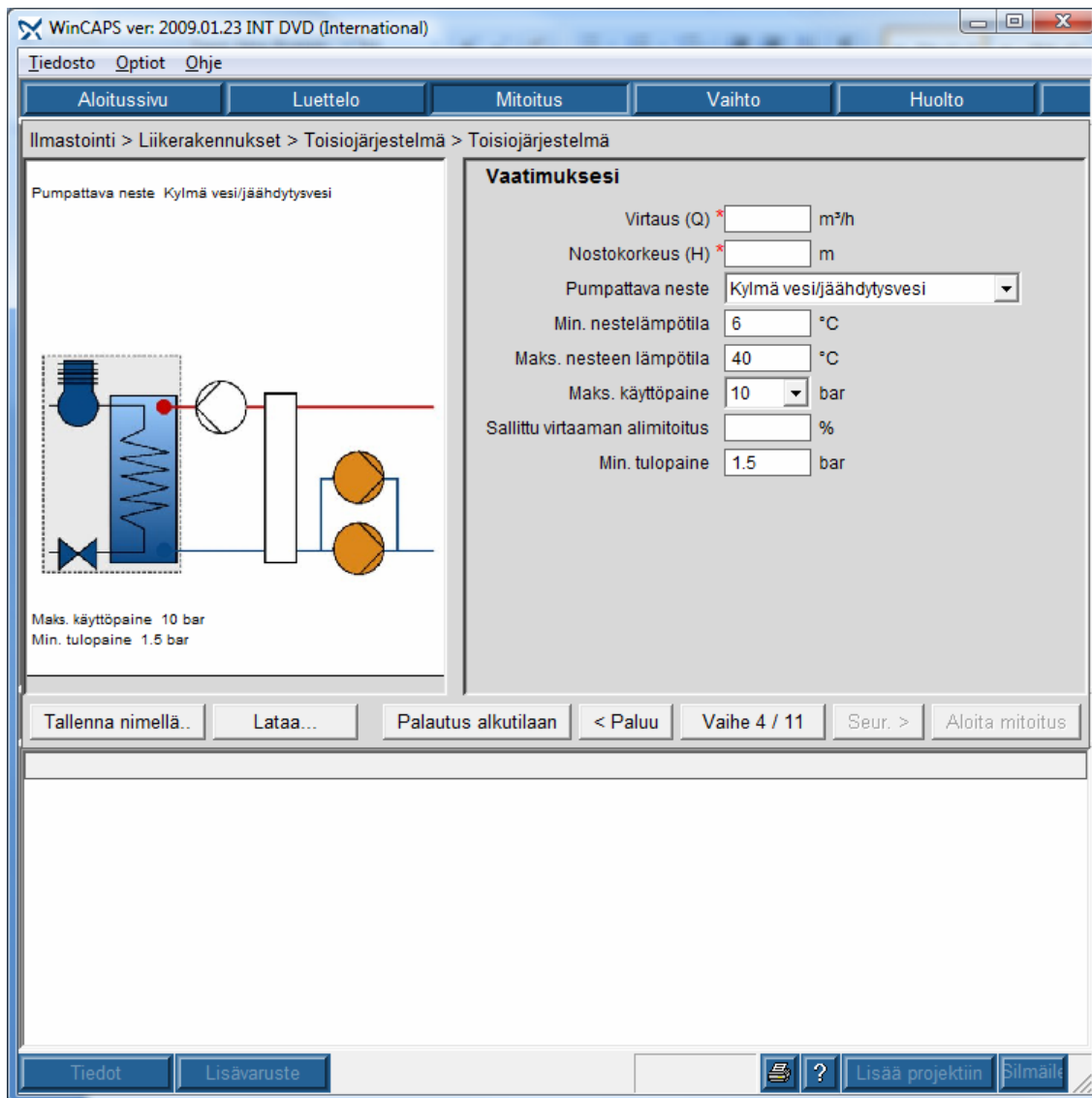
Hyötysuhteiksi on valittu kokonaishyötysuhde, johon on siis sisällytetty pumpun ja sähkömoottorin hyötysuhde. Helsingin energialta (Helen) saatiin esimerkkilaskenta suhteellisen säädön tuottamasta energian ja siten rahan säästöstä 20 vuoden aikana. Elinkaaren aikaiset kustannussäästöt ovat 20 000 € (liite 3)

Grundfosin WinCAPS-ohjelmalla laskettujen hyötysuhteiden avulla saadaan luotua taulukko, joka toimii ohjenuorana hankesuunnitteluvaiheen energialaskijalle pumppujen hyötysuhteen arvioinnissa. Ohjelmassa on mitoitus-osio, josta valitaan toisiojärjestelmä (kuva 14).



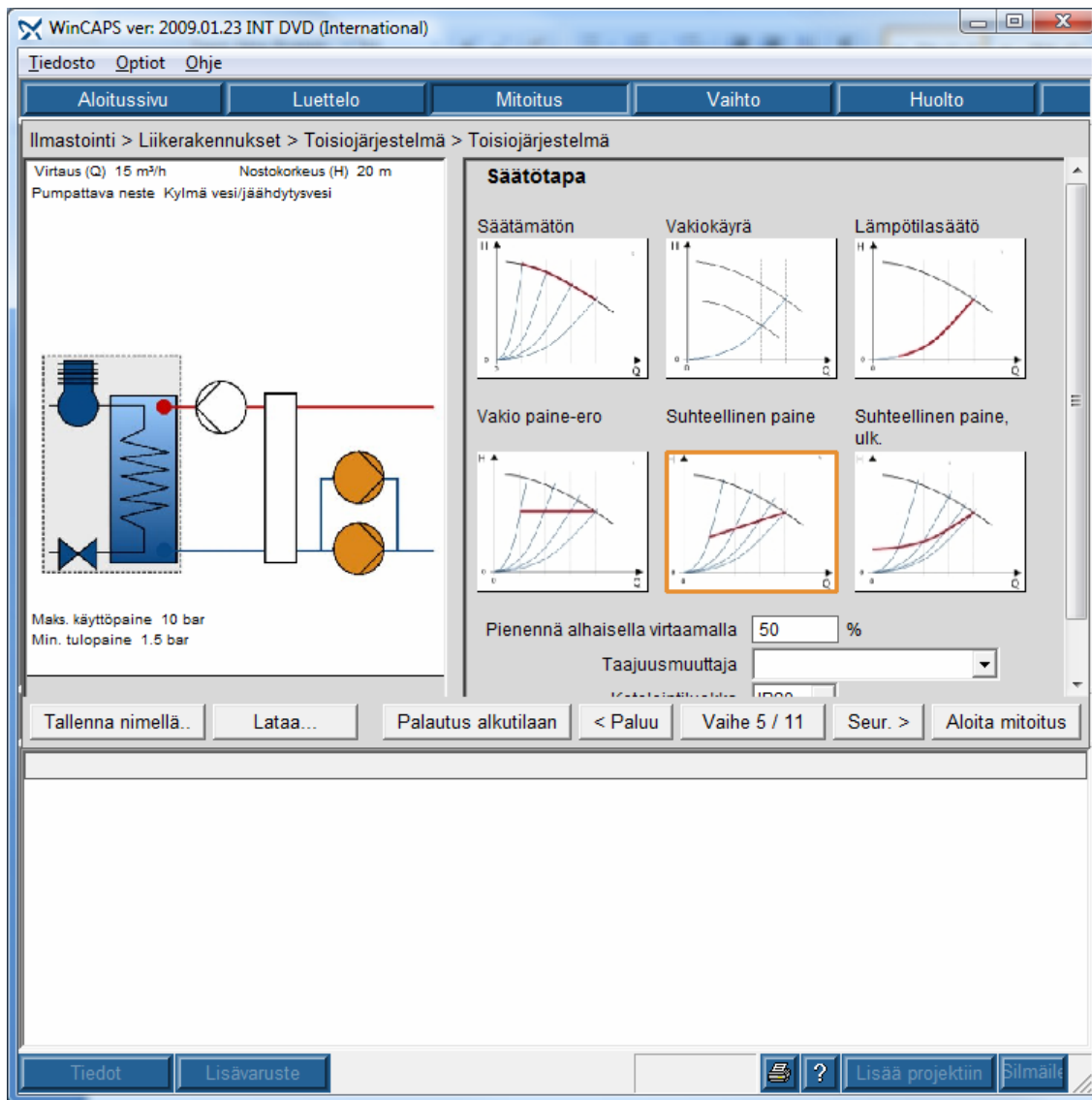
Kuva 14. WinCAPS-ohjelman mitoitus-osion asennustavan valinta [21].

Tästä edetään seuraavaan vaiheeseen (kuva 15), jossa syötetään virtaama ja nostokorkeus.



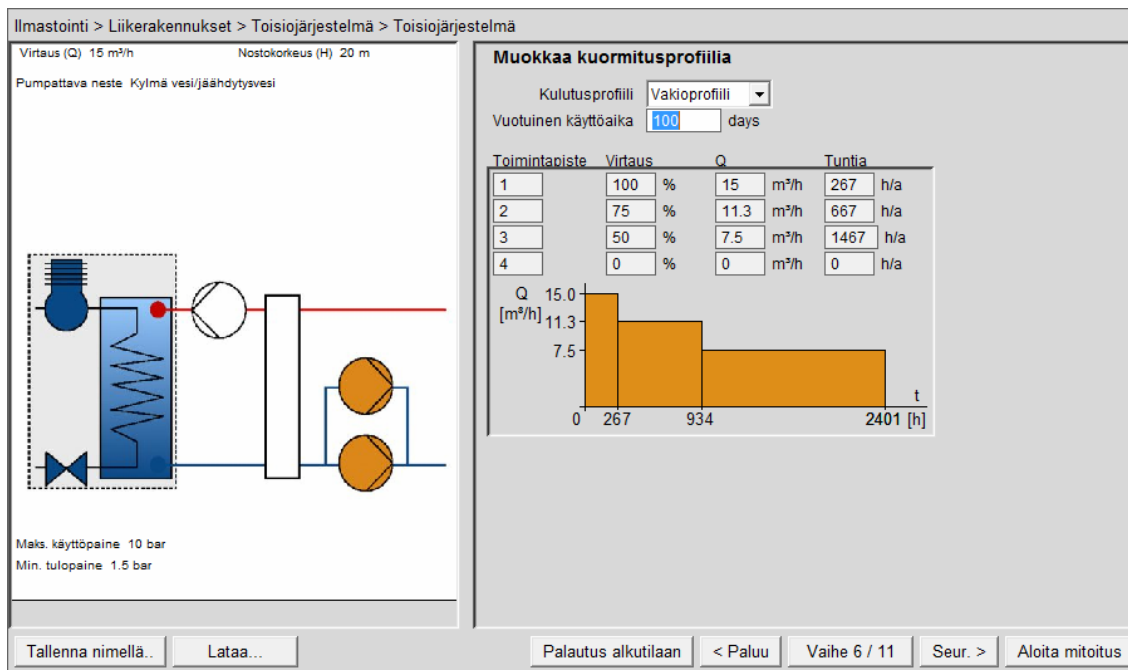
Kuva 15. WinCAPS-ohjelman mitoitus-osion omien vaatimusten syöttö [21].

Virtaaman ja nostokorkeuden syötettyä voi valita suoraan [aloita mitoitus], jolloin ohjelma mitoittaa oletusarvoilla parhaan pumpun (kuva 15). Toinen vaihtoehto on edetä seuraavaan kohtaan, jossa voi muokata pumpun säätötapaa (kuva 16).



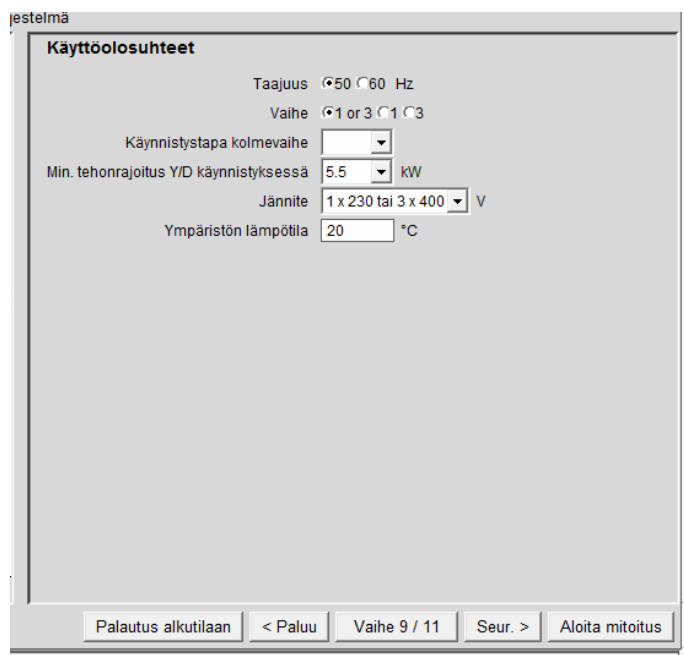
Kuva 16. WinCAPS-ohjelman mitoitus-osion säätötavan valinta [21].

Grundfos tarjoaa valittavaksi kuusi eri säätötapaa, tosin niistä muutama on tänä päivänä käyttökelpoinen. Vakiokäyrä sopii tilanteeseen, jossa verkostossa ei ole jatkuvaa säädön tarvetta ja virtaama on vakio. Pumpun pyörimisnopeus on aseteltu asennusvaiheessa vakioksi. Vakio paine-erosäätö sopii verkostoihin, joissa virtaamat vaihtelevat. Tällöin pumpun yli pidetään vakioeropainetta virtaaman muuttuessa. Suhteellinen painesäätö sopii hyvin monenlaisiin verkostoihin, sillä siinä taajuusmuuttajan avulla säädetään sopiva virtaama verkostoon hyötysuhteen juuri kärsimättä.



Kuva 17. WinCAPS-ohjelman mitoitus-osion kuormitusprofiilin muokkaus [21].

Tässä osiossa pystyy muokkaamaan kuormitusprofiilia jäähdytyspumppulle tai käyttämään vakioprofiilia (kuva 17). Tämän jälkeen tulee vielä valittavaksi pumppukonfiguraatio, eli onko kyseessä yksi vai kaksi pumppua sarjassa tai rinnan oleva monipumppukonfiguraatio. Seuraavaksi voi muokata pumpun rakennetta materiaalin ja liitännätavan mukaan.



Kuva 18. WinCAPS-ohjelman mitoitus-osion käyttöolosuhteiden valinta [21].

Käyttöolosuhteet valitaan kuvan 18 mukaisesti. Lopuksi voidaan rajata osumia muutamien eri kriteerien perusteella. Viimeisenä aloitetaan mitoitus, jolloin ohjelma laskee valituille arvoille parhaat vaihtoehdot ja tarjoaa kahdeksan parasta vaihtoehtoa (kuva 19).

WinCAPS ver: 2009.01.23 INT DVD (International)

Tiedosto Optiot Ohje

Aloitussivu Luettelo Mitoitus Vaihto Huolto Projekti

Ilmastointi > Liikerakennukset > Toisiojärjestelmä > Toisiojärjestelmä

Syöttötietojen yhteenveto:

Valitse sovellus

Ilmastointi

Yhteenvetotila Ei

Valitse sovellusalue

Liikerakennukset

Valitse asennustapa

Toisiojärjestelmä

Asennustapa Toisiojärjestelmä

Vaativuusesi

Maks. käyttöpaine 10 bar

Maks. nesteen lämpötila 40 °C

Min. nestelämpötila 6 °C

Min. tulopaine 1.5 bar

Nostokorkeus (H) 20 m

Pumpattava neste Kylmä vesi/jäähdytysvesi

Virtaus (Q) 15 m³/h

Säätötapa

Grundfosin suositus:

CR 15-3 A-A-A-E HQQE

Määrä: 1

Tuotenumero: 96501906

CR 15-3 A-A-A-E HQQE

Pystyrakenteinen, normaali-imevä, monijaksoinen in-line keskipakoispumppu asennettavaksi putkistoihin ja alustalle.

Pumpun ominaisuudet:

- Juoksupyörät, ja välipesät valmistettu Ruostumaton teräs-materiaalista DIN W.-Nr. DIN W.-Nr. 1.4301.
- Pumpun pää ja alusta valmistettu Valurauta-materiaalista.
- Akseliivisteiden kokoonpanopitus DIN 24960 mukaisesti.
- Tehonsiirto valurautaisen kaksiosaisen kytkimen kautta.
- Putkistoliitos laipoin OVAL mukaisesti.
- Moottori on 3-vaiheinen vaihtovirtamoottori.

Neste:

Pumpattava neste: Kylmä vesi/jäähdytysvesi

Nesteen lämpötila-alue: -20 ... 120 °C

Tallenna nimellä... Lataa...

Palautus alkutilaan < Paluu Vaihe 11 / 11 Seur.(LCC, ...) > Aloita mitoitus

| Järjes... | Tuotenumero | Tuotteen nimi | Vaihe | U [V] | P2 nim... | Pumpun pai... | Q tod... | Tod. n... | Energia [...] | [EUR /a] | Kokon... |
|-----------|---------------|---------------|-------|-----------------------|-----------|---------------|----------|-----------|---------------|----------|----------|
| X | 96501906 + .. | CR 15-3 | 3 | 380-415 D | 3 | Rp 2 | 15 | 20 | 1964 | 295 | (1) |
| X | 96501996 + .. | CR 15-3 | 3 | 380-415 D | 3 | Rp 2 | 15 | 20 | 1964 | 295 | (2) |
| X | 96501972 + .. | CRN 15-3 | 3 | 380-415 D | 3 | 87 mm | 15 | 20 | 1964 | 295 | (3) |
| X | 96500327 + .. | CR 20-2 | 3 | 220-240 D / 380-415 Y | 2.2 | DN 50 | 15 | 20 | 2063 | 309 | (4) |
| X | 96502062 + .. | CRN 15-3 | 3 | 380-415 D | 3 | 87 mm | 15 | 20 | 1964 | 295 | (5) |
| X | 96500519 + .. | CR 20-2 | 3 | 380-415 D | 2.2 | Rp 2 | 15 | 20 | 2112 | 317 | (6) |
| X | 96500558 + .. | CRN 20-2 | 3 | 380-415 D | 2.2 | 60,1 mm | 15 | 20 | 2112 | 317 | (7) |
| X | 96500663 + .. | CRN 20-2 | 3 | 380-415 D | 2.2 | 87 mm | 15 | 20 | 2112 | 317 | (8) |

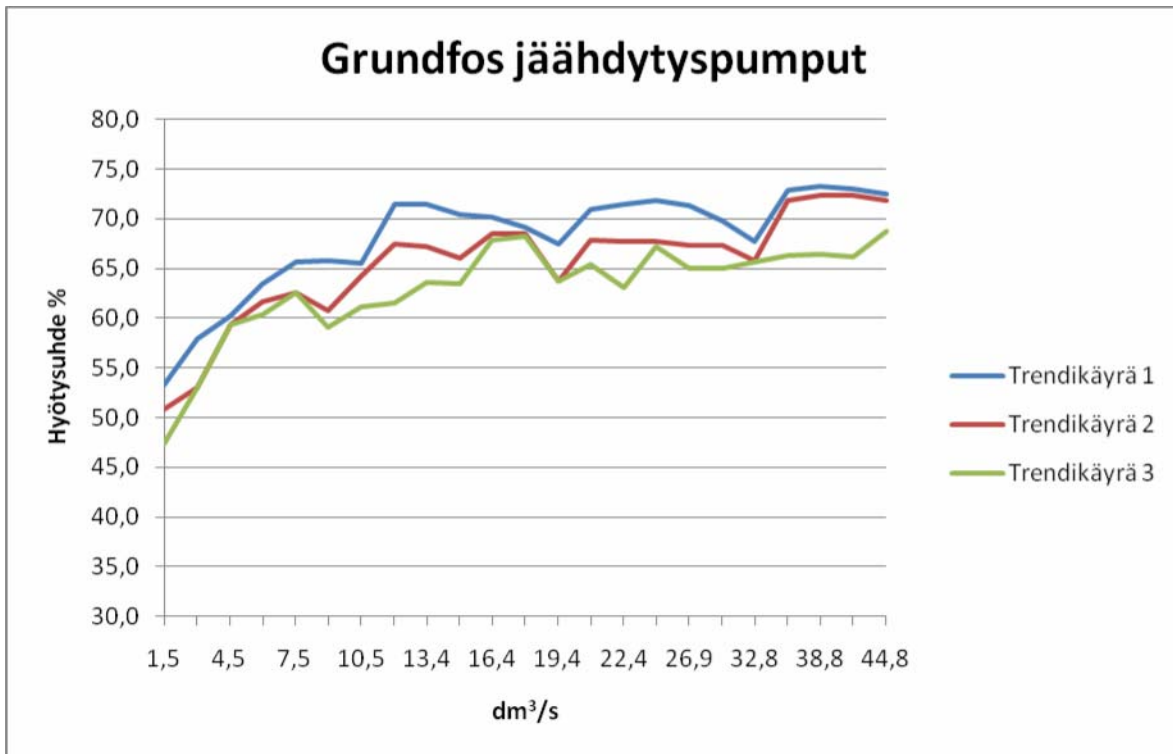
Tiedot Lisävaruste

8 Löydetty

Lisää projektiin Silmäile projektia

Kuva 19. WinCAPS-ohjelman tarjoamat pumppuvaihtoehdot alhaalla listana [21].

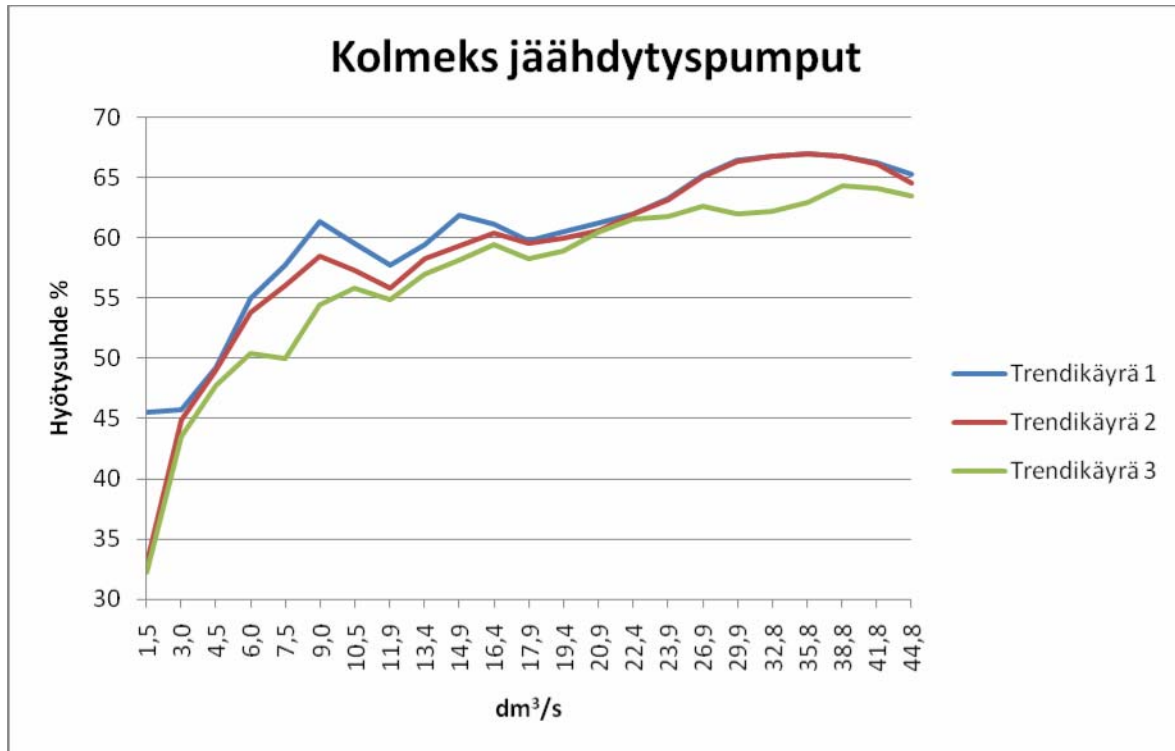
Tällä menetelmällä on laskettu eri virtaamille kolme eri vaihtoehtoa, ja niiden käyrästöt näkyvät kuvan 20 käyrästössä.



Kuva 20. Grundfosin jäähdytuspumppujen hyötysuhdekäyrästä.

Kuvasta 20 nähdään Grundfosin pumpuille laskettuja kokonaishyötysuhdearvoja eri virtaamilla. Virtaamat vastaavat tehoja 50–1500 kW. Jos hankesuunnitteluvaiheessa on alustavaksi pumpputoimittajaksi kaavailtu Grundfos, voidaan tästä kaaviosta valita energialaskentaan sopiva hyötysuhdearvo.

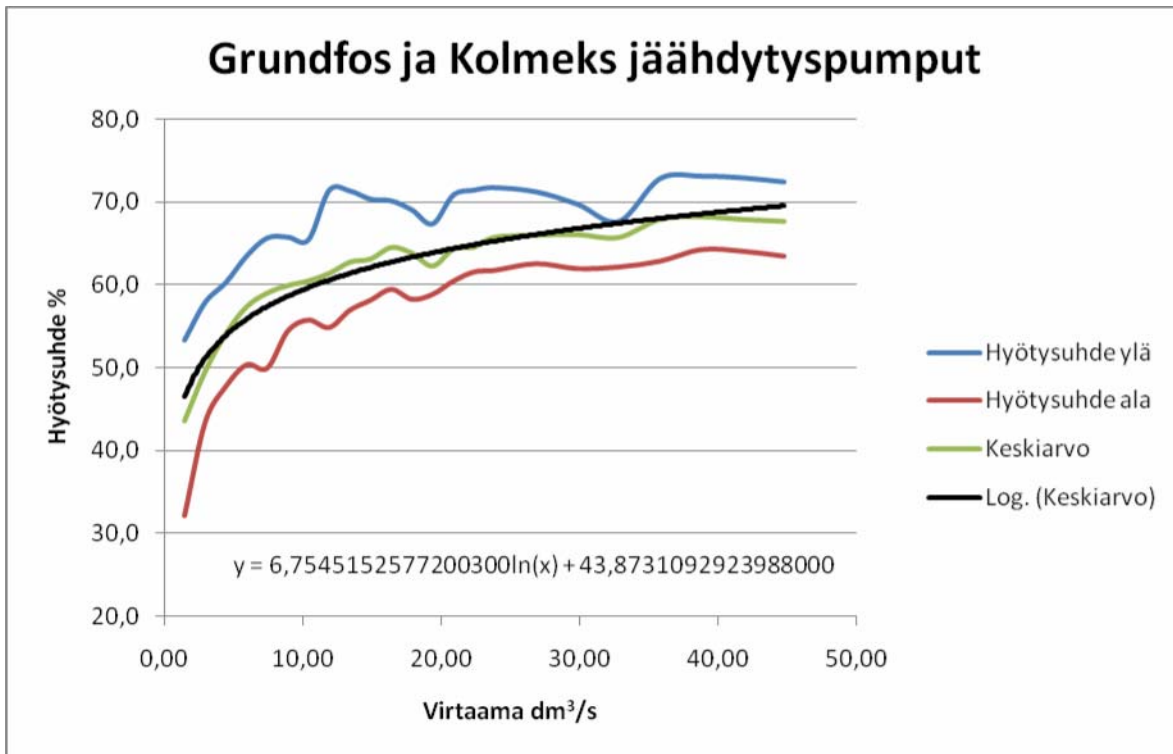
Sama menetelmä toteutettiin Kolmeks Oy:n ohjelmistolla FOCUS '09. Tälläkin ohjelmalla laskettiin hyötysuhteet samoille virtaamille kolmella eri pumpulla ja saatiin kuvan 21 esittämä käyrästä.



Kuva 21. Kolmeks-jäähdytyspumppujen hyötysuhdekäyrät.

Jos hankesuunnitteluvaiheessa on alustavaksi pumpputoimittajaksi valittu Kolmeks, voidaan tästä kaaviosta valita energialaskentaan sopiva hyötysuhdearvo.

Näiden kahden valmistajan käyrät yhdistämällä saadaan käyrä, josta voidaan arvioida hyötysuhde valmistajasta riippumatta (kuva 22).



Kuva 22. Grundfosin ja Kolmeksin yhdistetyt hyötysuhdekäyrästöt.

Käyrästön perusteella voidaan valita jäähdytysvesivirtaaman laskemisen jälkeen hyötysuhde pumppaukselle jäähdytysjärjestelmässä. Keskiarvokäyrästä otetulla logaritmisella käyrällä saadaan yksinkertainen kaava, jolla suunnittelija saa virtaaman syöttämällä hyötysuhteen suoraan ilman käyrästä mittailemalla.

5.2 Vertailu toteutuneeseen kohteeseen

Esimerkkikohteena on eräs vuonna 2009 valmistunut toimistorakennus. Rakennuksen pinta-ala on $12\,500\text{ m}^2$ ja tilavuus $43\,750\text{ m}^3$. Rakennuksessa on avo-toimistotilaa sekä toimistokoppeja. Rakennus on suunniteltu muuntojoustavaksi, ja pääasiallinen jäähdytysjärjestelmä tiloissa on jäähdytyspalkit.

Rakennuksen jäähdytystehoksi on laskettu 40 W/m^2 , jolloin kokonaisjäähdytysteho on 500 kW , pumpun virtaamaksi on laskettu $24,1\text{ dm}^3/\text{s}$ ja nostokorkeudeksi 200 kPa , juoksupyörän halkaisijaksi on valittu 240 mm ja pumpun moottorin tehoksi $7,5\text{ kW}$. Näillä arvoilla Grundfos on mitoittanut pumpun, joka on mallia TPE 100-240/2-S. Pumpun kokonaishyötysuhteeksi tulee $65,4\%$, ja vertaamalla tätä edelliseen käyrästöön, nähdään että se osuu juuri keskiarvokäyrälle.

6 Jatkokehityskohteita

Vaikka ratkaisu korjaakin yhden ongelman ENKUn laskennassa, niin ohjelmaan jää yhä kehitettävää. Edellä esitettyä hyötysuhteen arviointimenetelmää tulee kehittää edelleen ja mahdollisesti lisätä eri pumppuvalmistajien tietoja käyrästöihin, jotta saadaan tarkennettua laskentatuloksia edelleen.

Pumput kokonaisuutena ovat hyvinkin laaja aihe ja niiden käsitteleminen yhdessä insinööriyössä ei ole kokonaisuutena mahdollista. Tätä työtä voi käyttää apuna määritettäessä talotekniikan muiden pumppujen energiankulutuksia ja mallinnettaessa hyötysuhteita. Tätä insinööriyötä apuna käyttäen olisi hyvä kehittää kokonaisvaltainen suunnittelijan pumppuohje, jossa käsiteltäisiin syvällisemmin kaikkia niitä pumppujen osa-alueita, joita tässä työssä lyhyesti käytiin läpi, ja niitä, joihin ei edes pystytty perehtymään.

7 Yhteenveto

Tämä insinöörityö tehtiin yhdessä työnantajani Pöyry Building Services Oy:n kanssa. Aihe oli työnantajalle tärkeä, koska se tehtiin kehitysprojektina parantamaan olemassa olevaa energialaskentaohjelmaa ENKUa, jotta ohjelmasta saataisiin tarkempia tuloksia hankesuunnitteluvaiheessa, jolloin monet tärkeät päätökset rakennusprojektin suhteen tehdään.

Työssä käytiin läpi hankesuunnittelu osana rakennusprojektia ja se miten se vaikuttaa koko hankkeeseen. Lyhyesti kerrattiin, miten energialaskenta kuuluu hankesuunnitteluvaiheeseen, sekä energiatodistusasiat. Työssä myös perehdyttiin laskentaohjelmisto ENKUn toimintaan ja laskentaan vaiheittain. Työssä päätettiin keskittyä talotekniikan pumppuihin ja erityisesti jäähdytysvesiverkostojen pumppuihin ja niiden hyötysuhteiden määrittämiseen hankesuunnitteluvaiheen energialaskentaa varten.

Koska hankesuunnitteluvaiheessa eivät tarkat mitoitusarvot tai laitevalinnat ole vielä tiedossa ja kohteesta on yleensä tiedossa vain arvioitu jäähdytysteho, tarvitsee suunnittelijan arvioida hyötysuhde, jolla päästään käsiksi energiankulutusarvioihin. Tähän tarpeeseen kokosin kahdelta suurelta valmistajalta, jotka ovat Grundfos ja Kolmeks, kokonaishyötysuhteet eri virtaamilla ja kokosin niistä taulukot, joista suunnittelija voi valita jäähdytystehosta saadun virtaaman perusteella hyötysuhteen energiankulutuslaskentaa varten. Näiden valmistajien käyröjen keskiarvosta voidaan ottaa logaritminen keskiarvo, jolle saadun kaavan perusteella riittää, että syöttää virtaamaan kaavaan, jolloin laskenta-algoritmi antaa suoraan halutun hyötysuhteen.

Talotekniikan pumpuissa ja niiden energiatehokkuudessa riittää nyt ja tulevaisuudessa kehitettävää sekä suunnittelijan näkökulmasta että laitevalmistajien kannalta. Vaatimukset nykyistä vähemmän energiaa kuluttaville pumppuille ovat kiristymässä sekä kansallisessa että Euroopan Unionissa.

Koska pumppujen keskimääräinen käyttöikä rakennuksessa on pitkä, ovat niiden elinkaaren aikaiset energiankulutukset merkittävä osa rakennuksen energiankulutusta. Pelkästään Euroopan Unionissa kiertovesipumput kuluttavat 2 % eli 2 500 TWh sähköä vuodessa.

Tahdon kiittää insinööritöyssäni ohjaajaani Jukka Yrjölää Metropolista suuresta avusta sekä työnantajaani Pöyry Building Services Oy:tä tuesta tämän työn tekemisessä.

Lähteet

- 1 Energiatodistusopas 2007. (WWW-dokumentti). Ympäristöministeriö.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=105735&lan=fi>
 Päivitetty 2.7.2009. Luettu 15.3.2010

- 2 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. (WWW-dokumentti.) Ympäristöministeriö.
<http://www.finlex.fi/data/normit/29520D5190607suomi.pdf>.
 Päivitetty 19.6.2007. Luettu 15.3.2010.

- 3 Energiatehokas pumppausjärjestelmä. (WWW-dokumentti). Motiva. 2009
http://www.motiva.fi/files/2419/Energiatehokas_pumppausj_rjestelm_.pdf
 Luettu 15.3.2010

- 4 Rakennuksen energiatodistus ja energiatehokkuusluvun määrittäminen. (WWW-dokumentti). Ympäristöministeriö.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=82324&lan=fi>
 Päivitetty 13.3.2008. Luettu 15.3.2010

- 5 Rakennusten energiatehokkuus. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. (WWW-dokumentti.). Ympäristöministeriö.
http://www.finlex.fi/data/normit/34165-D3-2010_suomi_22-12-2008.pdf.
 Päivitetty 22.12.2008. Luettu 15.3.2010

- 6 Energiatehokkaat kiertovesipumput. (WWW-dokumentti). Motiva.
http://www.energypluspumps.eu/fi/data_editor/File/E+%20training%20module%20presentation%20FI.pdf. Luettu 15.3.2010.

- 7 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2005/32/EY täytäntöönpanemisesta erillisten ja tuotteisiin integroitujen akselitiivisteettömien kiertovesipumppujen ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten osalta. (WWW-dokumentti). EUROOPAN YHTEISÖJEN KOMISSIO. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:191:0035:0041:FI:PDF>. Päivitetty 22.7.2010. Luettu 10.3.2010

- 8 Grundfos E-pumput. (WWW-dokumentti). Grundfos Oy.
<http://net.grundfos.com/App/WebCAPS/LiteratureDetail?documentid=159322&litlanguage=FIN&typecode=TPESFAM&appcode=TPE0S2&pdfid=1769866&language=FIN>. Päivitetty 16.4.2009. Luettu 12.3.2010

- 9 Luukkanen, Petteri. Pumpunvalitsimet integroidussa simulointiympäristössä. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. 2001.
- 10 Vuolteenaho, Juho. Nykyaikainen rakennushanke. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu. 2000.
- 11 ENKU V. 1.42D. Energiamallinnusohjelma. Pöyry Building Services Oy.
- 12 Rouvinen, Satu. Pumppujen energiatehokkuuden mittaus ja optimointi. Insinöörityö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. 2009.
- 13 Grundfos. WebCAPS online-valintatyökalu.
<http://net.grundfos.com/Appl/WebCAPS/custom?userid=GSF>
- 14 Hämäläinen, Antti. Talonrakentamisen elinkaarikustannustiedot. Seminaarityö. 2003.
<http://www.tkk.fi/Yksikot/Talo/opetus/Elinkaari/esitelmat/esitelma4.pdf>
- 15 Laki rakennuksen energiatodistuksesta 13.4.2007/487
- 16 Laki rakennuksen ilmastointijärjestelmän kylmälaitteiden energiatehokkuuden tarkastamisesta 13.4.2007/489
- 17 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/91/EY
- 18 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 765/2007
- 19 Kolmeks Oy. Pump manager. Pumppumitoitushjelma.
- 20 Sainio, Erkki. Pumput luentomateriaali. Kone- ja energiatekniikka. Metropolia ammattikorkeakoulu.
- 21 Grundfos Oy. WinCAPS. Pumppumitoitusohjelma.

Grundfos jäähdytuspumput

LIITE 1

| cP | roo | delta t | H |
|------|------|---------|---------|
| 4,19 | 1,00 | 8,00 | 20,00 m |

Tehot: kW

| 50,00 | 100,00 | 150,00 | 200,00 | 250,00 | 300,00 | 350,00 | 400,00 | 450,00 | 500,00 | 550,00 | kW |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| 1,49 | 2,99 | 4,48 | 5,97 | 7,47 | 8,96 | 10,45 | 11,94 | 13,44 | 14,93 | 16,42 | dm ³ /s |
| 5,38 | 10,75 | 16,13 | 21,50 | 26,88 | 32,25 | 37,63 | 43,00 | 48,38 | 53,75 | 59,13 | m ³ /h |

| | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 53,3 | 57,9 | 60,3 | 63,5 | 65,7 | 65,8 | 65,5 | 71,5 | 71,4 | 70,4 | 70,2 |
| 50,8 | 53,0 | 59,4 | 61,6 | 62,5 | 60,8 | 64,2 | 67,5 | 67,2 | 66,1 | 68,5 |
| 47,3 | 53,0 | 59,4 | 60,4 | 62,5 | 59,1 | 61,1 | 61,5 | 63,6 | 63,4 | 67,9 |

| 600,00 | 650,00 | 700,00 | 750,00 | 800,00 | 900,00 | 1000,00 | 1100,00 | 1200,00 | 1300,00 | 1400,00 | 1500,00 | kW |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------|
| 17,92 | 19,41 | 20,90 | 22,40 | 23,89 | 26,88 | 29,86 | 32,85 | 35,83 | 38,82 | 41,81 | 44,79 | dm ³ /s |
| 64,50 | 69,88 | 75,25 | 80,63 | 86,00 | 96,75 | 107,50 | 118,25 | 129,00 | 139,75 | 150,50 | 161,25 | m ³ /h |

| | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 69,1 | 67,4 | 70,9 | 71,5 | 71,8 | 71,3 | 69,8 | 67,7 | 72,9 | 73,2 | 73,0 | 72,5 |
| 68,5 | 63,7 | 67,8 | 67,7 | 67,7 | 67,3 | 67,3 | 65,8 | 71,9 | 72,4 | 72,3 | 71,9 |
| 68,2 | 63,7 | 65,4 | 63,1 | 67,2 | 65,0 | 65,0 | 65,6 | 66,3 | 66,4 | 66,2 | 68,8 |



50kW

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|---------|------|--------------------------|----------|------------------|----------|-------|--------|--------|-------|--|--|------|
| | | | | | | | | | | | | | | η |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96527387 + .. | CR 10-5 | 3,00 | 220-240 D / 380-415 Y | 40211,00 | Rp 2 | 14001,00 | 20,00 | 875,00 | 131,00 | -6,00 | | | 53,3 |
| X | 96527386 + .. | CR 10-4 | 3 | 220-240 D / 380-415 Y | 1.5 | Rp 2 | 5.38 | 20 | 916 | 137 | (4) | | | 50,8 |
| X | 96531653 + .. | CRN 5-5 | 3 | 220-240 D / 380-415 Y | 0.75 | DN 25 / DN 32 | 5.38 | 20 | 891 | 134 | | | | 47,3 |

100kW

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|----------|------|--------------------------|----------|-------|----------|-------|---------|--------|-------|--|--|------|
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96501906 + .. | CR 15-3 | 3,00 | 380-415 D | 3,00 | Rp 2 | 40400,00 | 20,00 | 1592,00 | 239,00 | -5,00 | | | 57,9 |
| X | 96527386 + .. | CR 10-4 | 3 | 220-240 D / 380-415 Y | 1.5 | Rp 2 | 10.8 | 20 | 1482 | 222 | (1) | | | 53,0 |
| X | 96501074 + .. | CRN 10-3 | 3,00 | 220-240 D / 380-415 Y | 40179,00 | 87 mm | 40400,00 | 20,00 | 1438,00 | 216,00 | -4,00 | | | 53,0 |

150kW

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|----------|------|-----------|----------|-------|----------|-------|---------|--------|-------|--|--|------|
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96501906 + .. | CR 15-3 | 3 | 380-415 D | 3 | Rp 2 | 16.1 | 20 | 2073 | 311 | (1) | | | 60,3 |
| X | 96500519 + .. | CR 20-2 | 3,00 | 380-415 D | 40211,00 | Rp 2 | 40194,00 | 20,00 | 2207,00 | 331,00 | -6,00 | | | 59,4 |
| X | 96500580 + .. | CRN 20-2 | 3,00 | 380-415 D | 40211,00 | 87 mm | 40194,00 | 20,00 | 2207,00 | 331,00 | -7,00 | | | 59,4 |

200kW

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|------------------|-------------|------|--------------------------|----------|-------|-------|----------|-------|---------|--------|------|---|------|
| X | 96121980 + .. | CR 32-2-2 | 3,00 | 220-240 D / 380-415 Y | 3,00 | DN 65 | | 40319,00 | 20,00 | 2696,00 | 404,00 | 3,00 | - | 63,5 |
| X | 96087009 + .. | TP 50-290/2 | 3,00 | 220-240 D / 380-415 Y | 3,00 | DN 50 | 16,00 | 40319,00 | 20,00 | 2884,00 | 433,00 | 8,00 | - | 61,6 |
| X | 96087008 + .. | TP 50-240/2 | 3,00 | 220-240 D / 380-415 Y | 40211,00 | DN 50 | 16,00 | 40319,00 | 20,00 | 2903,00 | 435,00 | 5,00 | - | 60,4 |
| 250kW | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96122823 + .. | CR 45-2-2 | 3,00 | 380-415 D | 40303,00 | DN 80 | | 40447,00 | 20,00 | 3296,00 | 494,00 | 7,00 | - | 65,7 |
| X | 96087009 + .. | TP 50-290/2 | 3 | 220-240 D / 380-415 Y | 3 | DN 50 | 16 | 26.9 | 20 | 3335 | 500 | (1) | | 62,5 |
| X | 96536115 + .. | CRN 32-2-2 | 3,00 | 220-240 D / 380-415 Y | 3,00 | DN 65 | | 40447,00 | 20,00 | 3197,00 | 480,00 | 5,00 | - | 62,5 |
| 300kW | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96122823 + .. | CR 45-2-2 | 3 | 380-415 D | 5.5 | DN 80 | | 32.3 | 20 | 3751 | 563 | (6) | | 65,8 |
| X | 96087009 + .. | TP 50-290/2 | 3 | 220-240 D / 380-415 Y | 3 | DN 50 | 16 | 32.3 | 20 | 3866 | 580 | (1) | | 60,8 |
| X | 96536115 + .. | CRN 32-2-2 | 3,00 | 220-240 D / 380-415 Y | 3,00 | DN 65 | | 32.3 | 20,00 | 3798,00 | 570,00 | 5,00 | - | 59,1 |
| 350kW | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96122822 + .. | CR 45-1 | 3,00 | 380-415 D | 4,00 | DN 80 | | 37.6 | 20,00 | 4662,00 | 699,00 | 5,00 | - | 65,5 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|------------------|-------------|------|--------------------------|----------|--------|-------|-------|-------|---------|--------|-----------|--|------|
| X | 96122823 + .. | CR 45-2-2 | 3 | 380-415 D | 5.5 | DN 80 | | 37.6 | 20 | 4260 | 639 | (1) | | 64,2 |
| X | 96087321 + .. | TP 65-260/2 | 3 | 220-240 D / 380-415 Y | 4 | DN 65 | 16 | 37.6 | 20 | 4942 | 741 | (6) | | 61,1 |
| 400kW | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96123530 + .. | CR 64-2 | 3,00 | 380-415 D | 11,00 | DN 100 | | 43,00 | 20,00 | 4755,00 | 713,00 | - 8,00 | | 71,5 |
| X | 96123550 + .. | CR 64-2-2 | 3 | 380-415 D | 7.5 | DN 100 | | 43 | 20 | 5086 | 763 | (7) | | 67,5 |
| X | 96536416 + .. | CRN 45-2-2 | 3 | 380-415 D | 5.5 | DN 80 | | 43 | 20 | 4853 | 728 | (3) | | 61,5 |
| 450kW | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96123530 + .. | CR 64-2 | 3 | 380-415 D | 11 | DN 100 | | 48.4 | 20 | 5170 | 776 | (8) | | 71,4 |
| X | 96123550 + .. | CR 64-2-2 | 3 | 380-415 D | 7.5 | DN 100 | | 48.4 | 20 | 5532 | 830 | (6) | | 67,2 |
| X | 96087504 + .. | TP 65-340/2 | 3,00 | 380-415 D | 40303,00 | DN 65 | 16,00 | 48.4 | 20,00 | 5677,00 | 852,00 | - 3,00 | | 63,6 |
| 500kW | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96536497 + .. | CRN 64-2 | 3 | 380-415 D | 11 | DN 100 | | 53.8 | 20 | 5628 | 844 | (6) | | 70,4 |
| X | 96123550 + .. | CR 64-2-2 | 3 | 380-415 D | 7.5 | DN 100 | | 53.8 | 20 | 6026 | 904 | (2) | | 66,1 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|------------------|-------------|------|-----------|----------|--------|-------|-------|---------|---------|---------|------|---|------|
| X | 96087535 + .. | TP 65-410/2 | 3,00 | 380-415 D | 40305,00 | DN 65 | 16,00 | 53.8 | 20,00 | 6267,00 | 940,00 | 1,00 | - | 63,4 |
| 550kW | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96124088 + .. | CR 90-2-2 | 3 | 380-415 D | 11 | DN 100 | | 59.1 | 20 | 6372 | 956 | (6) | | 70,2 |
| X | 96123552 + .. | CR 64-2 | 3 | 380-415 D | 11 | DN 100 | | 59.1 | 20 | 6124 | 919 | (1) | | 68,5 |
| X | 96108700 + .. | TP 80-240/2 | 3,00 | 380-415 D | 40303,00 | DN 80 | 16,00 | 59.1 | 20,00 | 7161,00 | 1074,00 | 8,00 | - | 67,9 |
| 600kW | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96124088 + .. | CR 90-2-2 | 3 | 380-415 D | 11 | DN 100 | | 64.5 | 20 | 6842 | 1026 | (7) | | 69,1 |
| X | 96108740 + .. | TP 80-240/2 | 3 | 380-415 D | 5.5 | DN 80 | 16 | 64.5 | 20 | 7531 | 1130 | (3) | | 68,5 |
| X | 96123549 + .. | CR 64-1 | 3,00 | 380-415 D | 40303,00 | DN 100 | | 64.5 | 20,00 | 7289,00 | 1093,00 | 1,00 | - | 68,2 |
| 650kW | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96124088 + .. | CR 90-2-2 | 3 | 380-415 D | 11 | DN 100 | 69.9 | 20 | 7357 | 1104 | (1) | | | 67,4 |
| X | 96536493 + .. | CRN 64-2-1 | 3,00 | 380-415 D | 11,00 | DN 100 | 69.9 | 20,00 | 7401,00 | 1110,00 | -6,00 | | | 63,7 |
| X | 96123551 + .. | CR 64-2-1 | 3,00 | 380-415 D | 11,00 | DN 100 | 69.9 | 20,00 | 7401,00 | 1110,00 | -2,00 | | | 63,7 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------|------------------|-------------|------|--------------------------|----------|--------|-------|-------|-------|---------|---------|-----------|------|
| 700kW | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96108742 + .. | TP 80-330/2 | 3 | 380-415 D | 11 | DN 80 | 16 | 75.3 | 20 | 8713 | 1307 | (7) | 70,9 |
| X | 96124087 + .. | CR 90-1 | 3 | 380-415 D | 7.5 | DN 100 | | 75.3 | 20 | 8808 | 1321 | (8) | 67,8 |
| X | 96536544 + .. | CRN 90-2-2 | 3,00 | 380-415 D | 11,00 | DN 100 | | 75.3 | 20,00 | 7922,00 | 1188,00 | - 2,00 | 65,4 |
| 750kW | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96108742 + .. | TP 80-330/2 | 3 | 380-415 D | 11 | DN 80 | 16 | 80.6 | 20 | 9063 | 1359 | (3) | 71,5 |
| X | 96124087 + .. | CR 90-1 | 3 | 380-415 D | 7.5 | DN 100 | | 80.6 | 20 | 9238 | 1386 | (4) | 67,7 |
| X | 96108865 + .. | TP 80-270/4 | 3,00 | 380-415 D / 660-690 Y | 40305,00 | DN 80 | 16,00 | 80.6 | 20,00 | 9553,00 | 1433,00 | - 5,00 | 63,1 |
| 800kW | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96108742 + .. | TP 80-330/2 | 3 | 380-415 D | 11 | DN 80 | 16 | 86 | 20 | 9438 | 1416 | (1) | 71,8 |
| X | 96108741 + .. | TP 80-250/2 | 3 | 380-415 D | 7.5 | DN 80 | 16 | 86 | 20 | 10003 | 1501 | (4) | 67,7 |
| X | 96536534 + .. | CRN 90-1 | 3,00 | 380-415 D | 40305,00 | DN 100 | | 86,00 | 20,00 | 9702,00 | 1455,00 | - 6,00 | 67,2 |
| 900kW | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|------------------|---------------------|------|---------------------|----------|--------|-------|--------|-------|-------|---------|-----------|--|------|
| | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96108742 + .. | TP 80-330/2 | 3 | 380-415 D | 11 | DN 80 | 16 | 96.8 | 20 | 10256 | 1538 | (1) | | 71,3 |
| X | 96108741 + .. | TP 80-250/2 | 3 | 380-415 D | 7.5 | DN 80 | 16 | 96.8 | 20 | 10869 | 1630 | (2) | | 67,3 |
| | 96275631,00 | TPE 80-250/2- S | 3,00 | 380-480 | 40305,00 | DN 80 | 16,00 | 96.8 | 20,00 | ##### | 1615,00 | - 5,00 | | 65,0 |
| 1000kW | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96108742 + .. | TP 80-330/2 | 3 | 380-415 D | 11 | DN 80 | 16 | 108 | 20 | 11210 | 1681 | (1) | | 69,8 |
| | 96275637,00 | TPE 80-330/2- S | 3,00 | 380-480 | 11,00 | DN 80 | 16,00 | 108,00 | 20,00 | ##### | 1696,00 | - 3,00 | | 67,3 |
| | 96275643 | TPE 80-400/2- S | 3 | 380-415 | 15 | DN 80 | 16 | 108 | 20 | 12443 | 1866 | (4) | | 65,0 |
| 1100kW | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96108742 + .. | TP 80-330/2 | 3 | 380-415 D | 11 | DN 80 | 16 | 118 | 20 | 12161 | 1824 | (1) | | 67,7 |
| | 96276057 | TPE 100- 370/4-S | 3 | 380-480 | 18.5 | DN 100 | 16 | 118 | 20 | 13342 | 2001 | (4) | | 65,8 |
| | 96275637,00 | TPE 80-330/2- S | 3,00 | 380-480 | 11,00 | DN 80 | 16,00 | 118,00 | 20,00 | ##### | 1836,00 | - 3,00 | | 65,6 |
| 1200kW | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96109210 + | TP 100-360/2 | 3 | 380-415 D / 660-690 | 18.5 | DN 100 | 16 | 129 | 20 | 14391 | 2159 | (2) | | 72,9 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|---------------|-----------------|---|-----------------------|------|--------|----|-----|----|-------|------|-----|--|------|
| | .. | | | Y | | | | | | | | | | |
| | 96275697 | TPE 100-390/2-S | 3 | 380-480 | 22 | DN 100 | 16 | 129 | 20 | 14206 | 2131 | (3) | | 71,9 |
| | 96276057 | TPE 100-370/4-S | 3 | 380-480 | 18.5 | DN 100 | 16 | 129 | 20 | 14250 | 2138 | (4) | | 66,3 |
| 1300kW | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96109210 + .. | TP 100-360/2 | 3 | 380-415 D / 660-690 Y | 18.5 | DN 100 | 16 | 140 | 20 | 15111 | 2267 | (1) | | 73,2 |
| | 96275697 | TPE 100-390/2-S | 3 | 380-480 | 22 | DN 100 | 16 | 140 | 20 | 14919 | 2238 | (3) | | 72,4 |
| | 96276057 | TPE 100-370/4-S | 3 | 380-480 | 18.5 | DN 100 | 16 | 140 | 20 | 15193 | 2279 | (4) | | 66,4 |
| 1400kW | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96109210 + .. | TP 100-360/2 | 3 | 380-415 D / 660-690 Y | 18.5 | DN 100 | 16 | 151 | 20 | 15894 | 2384 | (1) | | 73,0 |
| | 96275697 | TPE 100-390/2-S | 3 | 380-480 | 22 | DN 100 | 16 | 151 | 20 | 15687 | 2353 | (3) | | 72,3 |
| | 96276057 | TPE 100-370/4-S | 3 | 380-480 | 18.5 | DN 100 | 16 | 151 | 20 | 16174 | 2426 | (4) | | 66,2 |
| 1500kW | | | | | | | | | | | | | | |
| X | 96109210 + .. | TP 100-360/2 | 3 | 380-415 D / 660-690 Y | 18.5 | DN 100 | 16 | 161 | 20 | 16662 | 2499 | (1) | | 72,5 |
| | 96275697 | TPE 100- | 3 | 380-480 | 22 | DN 100 | 16 | 161 | 20 | 16437 | 2465 | (3) | | 71,9 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|--------------|---|--------------------------|----|--------|----|-----|----|-------|------|-----|--|------|
| | | 390/2-S | | | | | | | | | | | | |
| X | 96109209 + .. | TP 100-310/2 | 3 | 380-415 D / 660-690 Y | 15 | DN 100 | 16 | 161 | 20 | 17349 | 2602 | (2) | | 68,8 |

Kolmeks jäähdytyspumput

LIITE 2

| cP | roo | delta t |
|-------|-----|---------|
| 4,186 | 1 | 8 |

| H |
|---------|
| 20,00 m |

Tehot: kW

| 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | kW |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|
| 1,49 | 2,99 | 4,48 | 5,97 | 7,47 | 8,96 | 10,45 | 11,94 | 13,44 | 14,93 | 16,42 | dm ³ /s |
| 5,38 | 10,75 | 16,13 | 21,50 | 26,88 | 32,25 | 37,63 | 43,00 | 48,38 | 53,75 | 59,13 | m ³ /h |

| | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 45,5 | 45,7 | 49,3 | 55 | 57,8 | 61,4 | 59,6 | 57,7 | 59,5 | 61,9 | 61,1 |
| 33 | 44,9 | 49 | 53,8 | 56,1 | 58,5 | 57,3 | 55,8 | 58,3 | 59,3 | 60,4 |
| 32,2 | 43,5 | 47,8 | 50,4 | 50 | 54,5 | 55,8 | 54,9 | 57 | 58,2 | 59,5 |

| 600 | 650 | 700 | 750 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 | kW |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| 17,92 | 19,41 | 20,90 | 22,40 | 23,89 | 26,88 | 29,86 | 32,85 | 35,83 | 38,82 | 41,81 | 44,79 | dm ³ /s |
| 64,50 | 69,88 | 75,25 | 80,63 | 86,00 | 96,75 | 107,50 | 118,25 | 129,00 | 139,75 | 150,50 | 161,25 | m ³ /h |

| | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 59,8 | 60,5 | 61,2 | 62 | 63,3 | 65,2 | 66,5 | 66,8 | 67 | 66,8 | 66,2 | 65,3 |
| 59,6 | 60 | 60,6 | 62 | 63,2 | 65,1 | 66,4 | 66,8 | 67 | 66,8 | 66,1 | 64,5 |
| 58,3 | 58,9 | 60,5 | 61,6 | 61,8 | 62,6 | 62 | 62,2 | 62,9 | 64,3 | 64,1 | 63,5 |

Hyötysuhteet kerätty Kolmeksin FOCUS 09 ohjelmasta ja tulosteet löytyvät liitetiedostoina PDF-muodossa.

ENERGIAN KULUTUSLASKELMA:

ESIMERKKI:
KESKIMÄÄRÄISEN KAUKOJÄÄHDITYSASIAKKAAN
TEHONTARPEESTA

JÄÄHDYTYSTEHO: 1Mw, $\Delta T = +8^{\circ}\text{C}$, JOLLOIN $q_v = 30\text{ l/s}$
Nostokorkeus 150 kPa
Vuotuinen käyntiaika 4992h/vuosi

Vakionopeus pumppu 24609kWh, 100%, 2461.00 Eur/vuosi
Eur/20v 49220.00 Eur/20v

Taajuusmuutuja pumppu 21768kWh, 88%, 2177.00 Eur/vuosi
Eur/20v 43540.00 Eur/20v

MITTAUS PUMPUN
YLITSE IMU/PAINELTA

Suhteellisella säädöllä ohj. pumppu 16854kWh, 68%, 1685.00 Eur/vuosi
Eur/20v 33700.00 Eur/20v

Vuotuinen säästö n. 776 Eur/ vuosi ja 20 vuoden aikana 15520.00 eur

MITTAUS PUMPUN
IMUOLELLA JA SIIRTIMEN YLITSE

Suhteellisella säädöllä ohj. pumppu 14950 kWh, 60%, 1495.00 Eur/vuosi
Eur/20v 19320.00 Eur/20v

Vuotuinen säästö n. 966 Eur/ vuosi ja 20 vuoden aikana 19320.00 eur

PUMPUN SÄÄTÄTÄVÄN VAIKUTUS ELINKAARIKUSTANNUKSIIN ON MERKITTÄVÄ. SUHTEELLISELLA
SÄÄDETYLLÄ PUMPULLA SÄÄSTÖ ELINKAARENAIKANA VERRATTUNA VAKIONPEUS PUMPUN
ON 20 VUODEN AIKANA n. 20000.00 Eur SÄÄSTÖÄ PUMPPAUSKUSTANNUKSISSA.